



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE MADRID
**ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES**



MÁSTER EN INGENIERÍA MECÁNICA

Toma de Decisiones para Situaciones de Emergencia en Servicios Ferroviarios de Viajeros

Trabajo Fin de Máster

Elia Ruiz Sandoval
02373

Dirigido por:
Juan de Dios Sanz Bobi

20 de octubre de 2011



Trabajo realizado al amparo del Proyecto P65/08 de la convocatoria del año 2008 de las ayudas del Programa Nacional de cooperación Público-Privada. Subprograma de proyectos relativos a transporte e infraestructuras del Ministerio de Fomento.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Fomento por el apoyo y la colaboración para la realización de esta investigación dentro del proyecto P65/08, al amparo de la Convocatoria para el año 2008 de las ayudas del Programa Nacional de cooperación Público-Privada de proyectos de I+D+i, Subprograma de proyectos relativos a transporte e infraestructuras (ORDEN PRE/1082/2008), y al grupo de investigación GIDAI de la Universidad de Cantabria, que ha sido el organismo principal de investigación, por su papel como coordinador del proyecto y por su espíritu integrador.

En segundo lugar, a Pablo Crespo, que fue el padre de este proyecto, y sin el que no habría sido posible darle el empuje necesario para conseguir llegar tan lejos como se ha llegado.

A mis compañeros Juan Andrés y María, que han hecho posible este proyecto y me han impulsado a terminar este Máster, y al resto de sabios del CITEF, que me han prestado su ayuda y sus conocimientos siempre que ha hecho falta.

A mis padres, por convencerme para completar mi formación y darme los ánimos suficientes para seguir un año más en la Escuela y no caer en la pereza, y por recordarme en cada llamada que debía terminar este proyecto.

A Edu, por estar siempre ahí y escucharme aunque no le interese.

A mis amigos del Johnny, por estar disponibles cada martes para compensar cada jornada interminable de clases y trabajo con un respiro.

Y por último a mi tutor, Juan de Dios, por acogerme en el CITEF durante estos años y abrirme el paso a este proyecto y a muchos otros.

Elia Ruiz Sandoval

Octubre de 2011

ÍNDICE

Agradecimientos	3
Índice	4
Índice de Figuras	7
Resumen	9
Abstract.....	10
1. Introducción.....	11
1.1 Marco de referencia.....	11
1.1.1 Entorno de trabajo	11
1.1.2 Antecedentes.....	12
1.2 Alcance y Objetivo.....	13
1.2.1 Alcance.....	13
1.2.2 Objetivo	14
1.3 Metodología de desarrollo del proyecto.....	15
2. Estado del Arte	16
2.1 El proceso de la toma de decisiones.....	16
2.1.1 Racionalidad	16
2.1.2 Barreras para la toma de decisiones efectivas.....	19
2.1.3 Cualidades personales para la toma de decisiones.....	21
2.1.4 Componentes de la decisión	23
2.1.5 Importancia de la toma de decisiones	24
2.1.6 La toma de decisión y su puesta en práctica.....	25
2.1.7 Toma de decisiones en condiciones de certeza, incertidumbre y riesgo.	26
2.1.8 Importancia de la toma de decisiones en grupo	31
2.2 Sistemas de Ayuda a la Decisión (SAD).....	34
2.2.1 Evolución histórica.....	34
2.2.2 Definición de un Sistema de Ayuda a las Decisiones	34
2.2.3 Características	37
2.2.4 Componentes	38
2.2.5 Arquitectura.....	40

2.2.6	Ventajas	42
2.2.7	Inconvenientes	43
3.	Definición del sistema	45
3.1	Identificación de las variables generales del sistema	45
3.2	Definición de entradas y salidas al sistema.....	48
3.3	Evaluación de las variables del sistema.....	50
3.3.1	Características de la línea de circulación.....	50
3.3.2	Características del tren	51
3.3.3	Tipos de situaciones de emergencia	52
3.3.4	Variables ligadas a la tripulación del tren	56
3.3.5	Variables ligadas a los pasajeros del tren.....	57
3.4	Sucesos y situaciones de emergencia que comprende el sistema	58
3.4.1	Detención no programada de larga duración	60
3.4.2	Arrollamientos	62
3.4.3	Descarrilamientos, alcances o colisiones	66
3.4.4	Incendio o explosión.....	68
3.4.5	Evacuación	70
3.4.6	Transbordo	72
3.5	Protocolización de las acciones a realizar	75
4.	Desarrollo del sistema mediante una aplicación software	76
4.1	Entorno de programación.....	76
4.2	Consideraciones generales	78
4.3	Generación de las ventanas o formularios	80
4.3.1	Ventana principal - Formulario padre	80
4.3.2	Ventanas de interfaz con el usuario	81
4.3.3	Ventana maestra	83
4.3.4	Ventanas de aviso.....	85
4.4	Generación de clases independientes	87
4.4.1	Clase vía	87
4.4.2	Clase tren.....	87
4.4.3	Clase incidencia	88
4.5	Generación de log de la aplicación.....	89

5. Funcionamiento de la aplicación.....	92
5.1 Estados del programa.....	92
5.2 Pantalla de bienvenida	93
5.2.1 Introducción de nombres de usuario y contraseñas	94
5.2.2 Introducción de datos de partida	95
5.3 Estado de reposo	103
5.3.1 Servicio de mensajería.....	105
5.3.2 Detección de una incidencia.....	107
5.3.3 Estado de prealarma.....	112
5.4 Estado de alarma	116
6. Conclusiones	120
7. Recomendaciones y futuros desarrollos.....	121
Bibliografía	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Esquema del proceso ideal de decisión	17
Figura 2. 2 Pasos del diseño de un SAD	35
Figura 2. 3 Bases de un Sistema de Ayuda a las Decisiones	37
Figura 2. 4 Componentes de un Sistema de Ayuda a las Decisiones.....	38
Figura 2. 5 Evolución de la comunicación en los componentes de un SAD.....	40
Figura 2. 6 Arquitectura hardware de un SAD	41
Figura 2. 7 Arquitectura software de un SAD	42
Figura 3. 1 Elementos fundamentales del entorno del sistema.....	46
Figura 3. 2 Diagrama de flujo del sistema	48
Figura 3. 3 Jerarquía del sistema	56
Figura 3. 4 Relaciones de la base de datos lógica	59
Figura 5. 1 Pantalla de bienvenida	93
Figura 5. 2 Pantalla del maquinista – Introducción de usuario y contraseña	94
Figura 5. 3 Pantalla del maquinista – Inicio de sesión correcto	95
Figura 5. 4 Pantalla del maquinista – Elección del tipo de tren.....	96
Figura 5. 5 Pantalla del maquinista – Comprobaciones previas al inicio de la marcha	97
Figura 5. 6 Mensaje de error al maquinista	97
Figura 5. 7 Pantalla del supervisor – Elección del trayecto.....	98
Figura 5. 8 Pantalla del supervisor - Comprobación previa al inicio de la marcha..	99
Figura 5. 9 Pantalla del supervisor – Finalización de la introducción de datos iniciales de ocupación	100
Figura 5. 10 Pantalla del maquinista - Recepción de los datos enviados por el supervisor.....	101
Figura 5. 11 Pantalla de la tripulación – Comprobaciones previas al inicio de la marcha	102
Figura 5. 12 Ventana principal del programa	103
Figura 5. 13 Pantalla del maquinista - Estado de reposo	105
Figura 5. 14 Pantalla del maquinista – Envío de texto	106
Figura 5. 15 Recepción de texto mediante el servicio de mensajería.....	106
Figura 5. 16 Pantalla del maquinista - Detección de incidencia	107
Figura 5. 17 Pantalla del maquinista - Elección del tipo de incidencia.....	108
Figura 5. 18 Pantalla del maquinista – Envío de la incidencia	109
Figura 5. 19 Confirmación del envío de la incidencia	110
Figura 5. 20 Espera al reconocimiento de la incidencia por todos los agentes	111
Figura 5. 21 Estado de prealarma previo a la entrada en túnel.....	113
Figura 5. 22 Pantalla del maquinista – Comprobaciones previas a la entrada en túnel	114

Figura 5. 23 Estado de prealarma durante la circulación en túnel.....	115
Figura 5. 24 Estado de alarma del programa.....	116
Figura 5. 25 Pantalla de la tripulación – Instrucciones frente a una incidencia.....	117
Figura 5. 26 Instrucciones finalizadas	117
Figura 5. 27 Pantalla del maquinista – Confirmación de finalización de una incidencia.....	118
Figura 5. 28 Finalización de las instrucciones.....	119

RESUMEN

Este proyecto trata del desarrollo de una herramienta prototipo que sirva como demostrador de un sistema apoyo a la decisión en situaciones de emergencia en trenes, para el caso particular de transporte ferroviario de viajeros de Alta Velocidad y especialmente focalizado al caso de la circulación en túnel.

Se ha desarrollado un sistema que comprenda las situaciones de emergencia que requieran de evacuación o transbordo del tren, como caso más general, que sea flexible, de modo que permita la ampliación a cualquier tren, trayecto y condiciones de pasaje, y que sea a la vez rápido, facilitando la toma de decisiones en tiempo real.

Se ha dotado al sistema de una interfaz de usuario intuitiva, mediante ventanas o formularios creados en el entorno de programación Microsoft Visual C#, que permitan la comunicación entre los agentes de a bordo del tren y la gestión de las posibles incidencias.

Finalmente se ha obtenido una aplicación sencilla, pero potente y flexible, que sirva como base para el desarrollo de un sistema de ayuda a la decisión complejo que integre todos los factores que intervienen en la resolución de situaciones de emergencia en los servicios ferroviario de viajeros.

Palabras clave: sistema de ayuda a la decisión, SAD, situaciones de emergencia, ferrocarril, alta velocidad, circulación en túnel, C#.

ABSTRACT

This project aim is developing a prototype tool as demonstrator of a decision support system (DSS) for emergency situations on trains, in the particular case of high speed passenger trains and especially focused on traffic in tunnels.

A system has been developed which includes emergency situations that require evacuation or transfer of the train, as most general case, that is flexible, so as to allow the extension to any train journey and conditions of passage, and that is to also fast, facilitating the decision-making in real time.

The system has an intuitive user interface, through windows or forms created with the programming environment Microsoft Visual C#, which allows communication between the agents on board the train and the management of the possible incidents.

Finally, a simple, yet powerful and flexible application has been obtained to serve as a basis for developing a complex decision support system that integrates all the factors involved in the resolution of emergency situations on passenger rail services.

Key words: Decision support system, DSS, emergency situations, railways, high speed train, tunnel traffic, C#.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 MARCO DE REFERENCIA

1.1.1 ENTORNO DE TRABAJO

Este Trabajo Fin de Máster del Máster de Ingeniería Mecánica se ha realizado en el marco de los trabajos de un proyecto de investigación en el Grupo de Investigación en Tecnologías Ferroviarias y Simulación Avanzada de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

Esta investigación se ha llevado a cabo en el marco de las subvenciones para el Proyecto P65/08 de la convocatoria del año 2008 de las ayudas del Programa Nacional de cooperación Público-Privada de proyectos de I+D+i, Subprograma de proyectos relativos a transporte e infraestructuras del Ministerio de Fomento (ORDEN PRE/1082/2008), siendo el grupo de investigación GIDAI de la Universidad de Cantabria el organismo principal de investigación.

El Grupo de Investigación en Tecnologías Ferroviarias y Simulación Avanzada (GITEF) se creó con fines de investigación, innovación, experimentación, estudio y docencia dentro del área de conocimiento de ferrocarriles. Este grupo está adscrito al departamento de Ingeniería Mecánica y de Fabricación de la E.T.S. de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

La línea en la que se enmarca este proyecto es la de buscar la automatización y la uniformidad de la respuesta ante situaciones de emergencia en el entorno ferroviario, en particular a bordo del tren.

Así, este trabajo se puede enmarcar de acuerdo a la clasificación de la UNESCO en el área de conocimiento 3323 – Tecnología de los Ferrocarriles, y en particular en el área 3323.03 – Servicios de ferrocarril, y en la 1209.04 – Teoría y Proceso de decisión.

En el mundo del ferrocarril es de vital importancia el control de todas las variables que afecten a la seguridad de los trenes, y en este caso, especialmente a en los trenes de pasajeros de Alta Velocidad.

Desde 1992, cuando se inauguró la primera línea de Alta Velocidad Española (AVE) entre Madrid y Sevilla, se han ido implantando nuevas líneas a lo largo de toda la geografía nacional, pero ha sido en los últimos años cuando se ha incrementado la inversión en este tipo de transporte, creándose la necesidad de automatizar los métodos de detección y resolución de incidencias a bordo de los trenes, para poder prevenir y solventar las situaciones de emergencia que puedan derivarse.

En particular se han creado situaciones delicadas en torno a la construcción de túneles, en particular en los túneles singulares de Pajares (24.648 m) y Guadarrama (28.377 m) debido a su extraordinaria longitud. En estos casos es más necesaria si cabe la implementación de sistemas que permitan facilitar la actuación de los agentes ante la circulación por túneles, y que optimice los recursos de que se disponen ante sucesos que puedan evolucionar hacia situaciones de peligro para los pasajeros.

En este marco, se propuso el desarrollo de un sistema a bordo del tren que permitiera hacer frente a estos retos, desde el conocimiento sobre el funcionamiento de los trenes y la explotación de las líneas ferroviarias y basándose en herramientas que permitieran la interacción con los agentes del tren en tiempo real.

1.2 ALCANCE Y OBJETIVO

1.2.1 ALCANCE

Este proyecto desarrollará un sistema automatizado de ayuda a la decisión en la gestión de emergencias en los servicios ferroviarios de viajeros de Alta Velocidad, de forma que se pueda gestionar cada una de las posibles situaciones de emergencia en tiempo real, minimizando las consecuencias de éstas y facilitando la prevención de sucesos que pudieran desencadenar nuevas situaciones de emergencia mediante su detección precoz.

En un principio se concibió este proyecto como el desarrollo de un sistema general, para todo tipo de trenes y todo tipo de circulaciones, pero al ser un objetivo demasiado ambicioso, se decidió limitar a la creación de un demostrador que permitiera probar el sistema de ayuda a la decisión en el caso particular de trenes de pasajeros, en circulaciones de alta velocidad, y prestando especial atención a las circulaciones en túnel.

A la hora de establecer los modelos de tren para el desarrollo del sistema se han elegido por el momento los trenes RENFE de la Serie 100, 102 y 103.

En el caso de los datos de los trayectos se han escogido trayectos tipo que incluyeran todo tipo de elementos, como pasos a nivel, túneles, zonas neutras o viaductos.

Por último, los agentes del tren se han clasificado en tres: maquinista, supervisor o interventor, y tripulación. De cara al estudio y desarrollo del sistema es equivalente que haya uno o más agentes de cada tipo, por lo que se ha reducido a tres agentes únicos, de modo que de cara a una ampliación sólo sería necesario duplicar algunas de las salidas gráficas.

Como marco de referencia se dispone de los documentos "*Procedimiento operativo de actuación en túneles singulares. Serie 102.*" (Renfe, 2007), y "*Fichas de actuación. Plan de emergencia en túneles*" (Renfe, 2007) que contienen los protocolos establecidos a seguir por los agentes a bordo del tren en el caso de situaciones de emergencia.

El objetivo de este proyecto es definir las acciones a realizar y desarrollar un protocolo de actuación dinámico frente a situaciones de emergencia, conformando un sistema de ayuda a la decisión que parta de una situación de reposo en la que se conozcan las variables de estado del sistema, los datos de partida de cada circulación, y evolucionando en función de las incidencias detectadas y las interacciones con los agentes del tren en tiempo real.

Este sistema de ayuda deberá adaptarse a cada uno de los posibles eventos y facilitar la resolución de las situaciones de emergencia que se produzcan.

El sistema de ayuda debe simplificar el proceso de la toma de decisiones mediante su automatización, proponiendo soluciones a los agentes implicados en el tren a partir de la información recopilada sobre el tren y la infraestructura, y de las características propias de cada circulación, buscando la mayor efectividad en cada una de las acciones propuestas.

Por lo tanto, este sistema debe funcionar en tiempo real, como un interlocutor entre la información obtenida de los diferentes elementos del entorno y los agentes humanos a bordo del tren.

1.3 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROYECTO

La metodología utilizada en la realización de este proyecto se ha basado en tres puntos fundamentales:

- Estudio de las condiciones de contorno del sistema:
 - Estudio y análisis del proceso de la toma de decisiones en situaciones de emergencia en trenes.
 - Estudio de la evolución y el estado de los Sistemas de Ayuda a la Decisión (SAD) actuales.
- Definición del sistema en cuanto a su alcance y contenido:
 - Identificación de las variables generales del sistema.
 - Definición de entradas y salidas al sistema.
- Evaluación de las variables del sistema:
 - Análisis de los factores que intervienen en el entorno del sistema.
 - Análisis de las diferentes situaciones de riesgo y evaluación del riesgo, así como definición de los posibles escenarios.
 - Establecimiento de los sucesos y las situaciones de emergencia que comprende el sistema.
 - Protocolización de las acciones a realizar en torno a los posibles eventos.
- Desarrollo del sistema mediante una aplicación software:
 - Desarrollo a nivel de demostrador.
 - Instalación y puesta en funcionamiento del sistema.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 EL PROCESO DE LA TOMA DE DECISIONES

Durante los últimos años, en nuestro país se ha producido un crecimiento de las infraestructuras destinadas al transporte ferroviario de Alta Velocidad. Las grandes ventajas de este medio de transporte llevan consigo también un incremento del ritmo de desarrollo de situaciones de emergencia potenciales con resultados presumiblemente más catastróficos.

A pesar de los avances en las instalaciones y sistemas de control, la toma de decisiones sobre las actuaciones necesarias en caso de emergencia no cuenta con el suficiente fundamento científico-técnico debido a la diversidad de escenarios, su carácter imprevisible y su usualmente impetuoso desarrollo, lo que dificulta el acierto de las decisiones heurísticas tradicionales.

Para acercarnos a este problema, es importante comprender completamente el proceso de la toma de decisiones en general y las particularidades que atañen al caso de situaciones de emergencia en trenes.

2.1.1 RACIONALIDAD

Una decisión consiste en el proceso de obtener y evaluar la información sobre una situación, identificar las posibles alternativas, seleccionar la mejor de ellas y aplicarla a la situación.

Cuando uno de los agentes del tren se enfrenta a una toma de decisión, además de comprender la situación que se presenta, debe tener la capacidad de analizar, evaluar, reunir alternativas y considerar las variables que intervienen, es decir, aplicar estas técnicas para encontrar soluciones razonables; podemos decir entonces que se trata de una toma de decisión basada en la racionalidad.

En el caso de situaciones de emergencia es fundamental evitar la racionalidad limitada o circunscrita, debido a la falta de información, de tiempo o de la capacidad para analizar alternativas a la luz de las metas buscadas, metas confusas o la tendencia humana a no correr riesgos al tomar una decisión. En este caso, las

metas serán solucionar la incidencia de la mejor manera y evitar que empeore la situación de emergencia. Hebert A. Simon (Simon, 1947) ha llamado a esto satisfacción suficiente, es decir, escoger un curso de acción que sea satisfactorio o lo bastante bueno, dadas las circunstancias.

Aunque muchas decisiones se toman con el deseo de salir adelante en una forma tan segura como sea posible, la mayoría de los agentes intentan tomar las mejores decisiones que puedan, dentro de los límites de la racionalidad y de acuerdo con el tamaño y la naturaleza de los riesgos implícitos, siempre en base a los protocolos de actuación establecidos.

El proceso racional de toma de decisiones, de entre los procesos existentes para la toma de decisiones, es el catalogado como "el proceso ideal". En su desarrollo, el agente debe seguir los pasos establecidos en la Figura 2. 1.

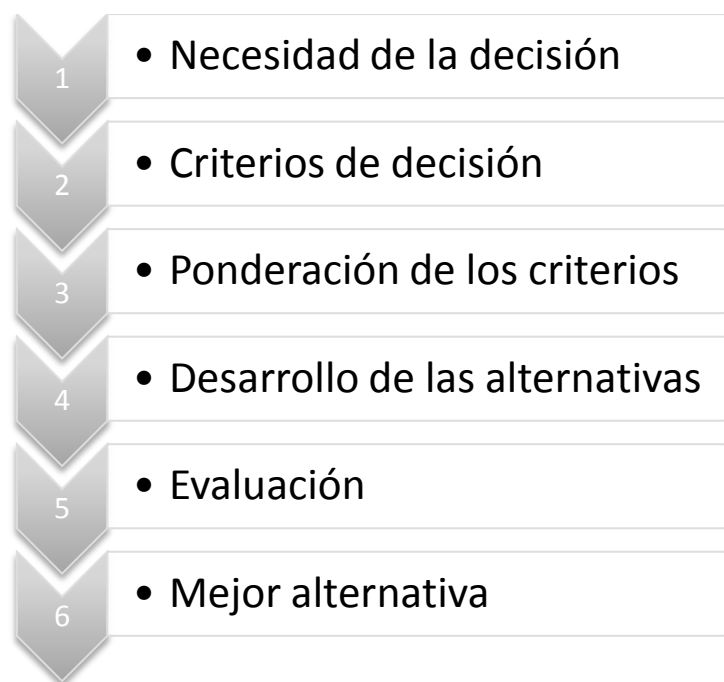


FIGURA 2. 1 ESQUEMA DEL PROCESO IDEAL DE DECISIÓN

Es conveniente estudiar con más detalle estos pasos:

1. Determinar la necesidad de una decisión. El proceso de toma de decisiones comienza con el reconocimiento de que se necesita tomar una decisión. Ese reconocimiento lo genera la existencia de un problema o una disparidad entre cierto estado deseado y la condición real del momento.
2. Identificar los criterios de decisión. Una vez determinada la necesidad de tomar una decisión, se deben identificar los criterios que sean importantes para la misma.

3. Asignar peso a los criterios. Los criterios enumerados en el paso previo no tiene igual importancia sino que es necesario ponderar cada uno de ellos y priorizar su importancia en la decisión.
4. Desarrollar todas las alternativas. Desplegar las alternativas. La persona que debe tomar una decisión tiene que elaborar una lista de todas las alternativas disponibles para la solución de un determinado problema.
5. Evaluar las alternativas. La evaluación de cada alternativa se hace analizándola con respecto al criterio ponderado. Una vez identificadas las alternativas, el tomador de decisiones tiene que evaluar de manera crítica cada una de ellas. Las ventajas y desventajas de cada alternativa resultan evidentes cuando son comparadas.
6. Seleccionar la mejor alternativa. Una vez seleccionada la mejor alternativa se llegó al final del proceso de toma de decisiones. En el proceso racional, esta selección es bastante simple. El tomador de decisiones sólo tiene que escoger la alternativa que tuvo la calificación más alta en el paso número cinco.
Este paso tiene varios supuestos, es importante entenderlos para poder determinar la exactitud con que este proceso describe el proceso real de toma de decisiones. El tomador de decisiones debe ser totalmente objetivo y lógico a la hora de tomarlas, tiene que tener una meta clara y todas las acciones en el proceso de toma de decisiones llevan de manera consistente a la selección de aquella alternativa que maximizará la meta.

En el caso de situaciones de emergencia, los protocolos de actuación establecidos sustituyen algunos de estos pasos en proceso de toma de decisiones, pero es conveniente la automatización de la resolución de la decisión de modo que se pueda llevar a cabo de forma más óptima y siempre del lado de la seguridad.

Si se analiza la toma de decisiones de una forma totalmente racional, se obtiene que la decisión debe cumplir los siguientes requisitos:

- *Orientada a un objetivo.* Cuando se deben tomar decisiones, no deben existir conflictos acerca del objetivo final. El lograr los fines es lo que motiva que haya que tomar la solución que más se ajusta a las necesidades concretas.
- *Todas las opciones son conocidas.* El tomador de decisiones tiene que conocer las posibles consecuencias de su determinación. Así mismo tiene claros todos los criterios y puede enumerar todas las alternativas posibles.
- *Las preferencias son claras.* Se supone que se pueden asignar valores numéricos y establecer un orden de preferencia para todos los criterios y alternativas posibles. En el caso de las situaciones de emergencia, cada una de ellas lleva asociado un nivel de riesgo numérico, entre uno y cuatro.

Por otro lado, cuando la toma de decisiones se lleva a cabo en un grupo integrado por diferentes personas, es importante que exista una jerarquía entre ellas que debe respetarse. En el tren, dicha jerarquía está clara entre los diferentes miembros de la tripulación (supervisor, maquinista y resto de la tripulación) y los agentes del Puesto de Mando.

Cuando la persona a cargo de tomar la decisión ha considerado las posibles consecuencias de sus opciones, ya está en condiciones de tomar la decisión. Debe considerar tres términos muy importantes, que son: maximizar, satisfacer y optimizar.

- *Maximizar*: es tomar la mejor decisión posible.
- *Satisfacer*: es la elección de la primera opción que sea mínimamente aceptable o adecuada, y de esta forma se satisface una meta o criterio buscado.
- *Optimizar*: Es el mejor equilibrio posible entre distintas metas.

El proceso no finaliza cuando la decisión se toma sino que ésta debe ser implementada. Bien puede ser que quienes participen en la elección de una decisión sean quienes procedan a implementarla, o bien en otras ocasiones delegan dicha responsabilidad en otras personas.

Debe existir la comprensión total sobre la elección de la toma de decisión en sí, las razones que la motivan y sobre todo debe existir el compromiso de su implementación exitosa. Para tal fin, las personas que participan en esta fase del proceso, deberían estar involucradas desde las primeras etapas que anteriormente hemos mencionado.

Para conseguir esto, es de mucha utilidad el utilizar un sistema de ayuda a la decisión, que permita la comunicación directa entre los agentes del tren y el intercambio de información durante todo el proceso. De este modo es más probable que los agentes no tengan dudas a la hora de saber si la incidencia ya ha sido localizada o si se están tomando las decisiones necesarias para solucionarla.

2.1.2 BARRERAS PARA LA TOMA DE DECISIONES EFECTIVAS

Se puede estar seguro de que cuando una decisión es tomada, ésta probablemente generará ciertos problemas durante su ejecución, por lo tanto la persona al mando debe dedicar el tiempo suficiente al reconocimiento de los inconvenientes que se pueden presentar así como también ver la oportunidad potencial que estos pueden representar.

Evaluar la decisión forma parte de la etapa final de este proceso. Se recopila toda la información que indique la forma en cómo funciona una decisión, es decir, es un proceso de retroalimentación que podría ser positiva o negativa. Esto puede simplificarse mucho mediante un sistema de ayuda que permita un registro de cada uno de los pasos tomados y también la introducción de texto, que quede reflejado una vez solucionada la incidencia.

Si la retroalimentación es positiva, entonces indica que se puede continuar la circulación sin problemas y que incluso se podría aplicar la misma decisión a otras situaciones de emergencia. Si por el contrario, la retroalimentación es negativa, podría ser que: tal vez la implementación requiera de más tiempo, recursos, esfuerzos o pensamiento, o puede indicar que la decisión fue equivocada, para lo cual se debe volver al principio del proceso, a la (re)definición del problema. Si esto ocurriera, sin duda se contaría con más información y probablemente sugerencias que ayudarían a evitar los errores cometidos en el primer intento.

Por otro lado existen barreras para la toma de decisiones efectivas. La vigilancia y la ejecución completa del proceso de toma de decisiones de seis etapas constituyen la excepción y no la regla en la toma de decisiones gerencial. Sin embargo, de acuerdo con las investigaciones, cuando las personas a cargo de tomar la decisión utilizan esos procesos racionales, sus decisiones resultan mejores. Los responsables que se aseguran de participar en esos procesos son más efectivos.

Las razones por las que las personas implicadas en la toma de decisión no participan automáticamente en esos procesos racionales son muy variadas. En algunos casos es porque resulta más sencillo descuidarlos o ejecutarlos en forma inadecuada, quizás el problema no se haya definido bien o las metas no se hayan identificado con precisión, quizás no se generen suficientes soluciones, o quizás se les evalúe en forma incompleta, es posible que se haga una elección que satisfaga y no que maximice, o bien la implementación pudo ser planeada o ejecutada, o quizás el monitoreo fue inadecuado o inexistente. Además, las decisiones se ven influidas por prejuicios psicológicos, presiones de tiempo y realidades sociales.

A veces los encargados de tomar decisiones están muy lejos de ser objetivos en la forma que recopilan, evalúan y aplican la información para elegir. Las personas tienen prejuicios psicológicos que interfieren con una racionalidad objetiva (Dichter, 1988). Algunos ejemplos representan solamente unos cuantos de los muchos prejuicios subjetivos que se han documentado:

- Ilusión de control: es creer que uno puede influir en las situaciones aunque no se tenga control sobre lo que va a ocurrir. En la toma de decisiones en situaciones de emergencia, confiar de manera excesiva puede resultar en un fracaso y en un peligro para la circulación, ya que quienes toman las decisiones ignoran los riesgos y por lo tanto fracasan en la evaluación objetiva de las probabilidades de éxito.

- Los efectos de perspectiva: se refieren a la manera en que se formulan o perciben los problemas o las alternativas de decisión y a la manera en que estas influencias subjetivas pueden imponerse sobre hechos objetivos.
- La desestimación del futuro: en una toma de decisión, al evaluar las alternativas no se debe dar más importancia a los beneficios a corto plazo que a los de largo plazo, puesto que el considerar únicamente los de corto plazo podría influir para dejar de lado aquellas variables de largo plazo, lo que también podría resultar en situaciones negativas para la consecución de la meta final.
- Presiones de tiempo: en escenarios como la toma de decisiones en situaciones de emergencia, el premio es para la acción rápida y el mantenimiento del paso. Las decisiones que se toman con mayor conciencia pueden volverse irrelevantes e incluso desastrosas si los responsables de tomar la decisión se toman demasiado tiempo en hacerlo. En este sentido es muy importante contar con un protocolo de actuación automatizado que permita saltar de una decisión a otra con mayor rapidez.

2.1.3 CUALIDADES PERSONALES PARA LA TOMA DE DECISIONES

Sin lugar a dudas existen ciertas cualidades que hacen que los tomadores de decisión sean buenos o malos.

Cuatro son las cualidades que tienen mayor importancia a la hora de analizar al tomador de decisiones: experiencia, buen juicio, creatividad y habilidades cuantitativas. Otras cualidades podrán ser relevantes, pero estas cuatro conforman los requisitos fundamentales.

- Experiencia:

Es lógico suponer que la habilidad de un mando para tomar decisiones crece con la experiencia. El concepto de veteranía en una organización con aquellos individuos que tienen el mayor tiempo de servicio, se funda en el valor de la experiencia y por lo tanto reciben un mayor salario. Cuando se selecciona a un candidato para algún puesto de la organización, la experiencia es un capítulo de gran importancia a la hora de la decisión. Los éxitos o errores pasados conforman la base para la acción futura, por un lado se supone que los errores previos son potencial de menores errores futuros y que los éxitos logrados en épocas anteriores serán repetidos.

Una experiencia de 10 años, supone una mayor amplitud de respuesta que puede tener una persona con una experiencia de 5 años, pero hay que tener cuidado con que la experiencia de 10 años no sea la de uno, repetida diez veces.

La experiencia tiene un importantísimo papel en la toma de decisiones. Cuando un mando se enfrenta a un problema, recurre a su experiencia para poder resolverlo de una forma que sabe los solucionó con anterioridad. Para situaciones mal estructuradas o nuevas, la experiencia puede acarrear ventajas y desventajas. La principal desventaja es que las lecciones de experiencia puedan ser inadecuadas por completo para el nuevo problema, resultando una decisión errónea, pero por otro lado también puede ser una gran ventaja, pues da elementos para diferenciar entre situaciones bien o mal estructuradas.

- Buen juicio:

Se utiliza el término juicio para referirnos a la habilidad de evaluar información de forma inteligente. Está constituido por el sentido común, la madurez, la habilidad de razonamiento y la experiencia del tomador de decisiones. Por lo tanto se supone que el juicio mejora con la edad y la experiencia.

El buen juicio se demuestra a través de ciertas habilidades para percibir información importante, sopesar su importancia y evaluarla. El juicio es más valioso en el manejo de problemas mal estructurados o nuevos, porque precisamente de ese juicio el tomador de decisiones sacará determinaciones y aplicará criterios para entender el problema y simplificarlo, sin distorsionarlo con la realidad.

Un juicio se desarrolla de la siguiente manera: basado en la información disponible y en su propia experiencia anterior, el tomador de decisiones establece parámetros conformados por los hechos, las opiniones y el conocimiento en general.

- Creatividad:

La creatividad designa la habilidad del tomador de decisiones para combinar o asociar ideas de manera única, para lograr un resultado nuevo y útil.

El tomador de decisiones creativo es capaz de captar y entender el problema de manera más amplia, incluso de ver las consecuencias que otros pasan por alto. Sin embargo el mayor valor de la creatividad está en el desarrollo de alternativas, en el ser creativos y poder generar suficientes ideas para encontrar el camino más corto y efectivo al problema.

- Habilidades cuantitativas:

Ésta es la habilidad de emplear técnicas presentadas como métodos cuantitativos o investigación de operaciones, como pueden ser: la programación lineal, teoría de líneas de espera y modelos de inventarios. Estas herramientas

ayudan a los mandos a tomar decisiones efectivas. Pero es muy importante no olvidar que las habilidades cuantitativas no deben, ni pueden reemplazar al buen juicio en el proceso de toma de decisiones.

En el caso de las situaciones de emergencia, estas cualidades son las que cumplen las personas a cargo del desarrollo de los protocolos de actuación por parte de Renfe, que permitirá servir como esqueleto a todas las futuras decisiones.

2.1.4 COMPONENTES DE LA DECISIÓN

El arte de tomar decisiones está basado en cinco componentes básicos:

- a) Información: Esta se recoge tanto para los aspectos que están a favor como en contra del problema, con el fin de definir sus limitaciones. Sin embargo si la información no puede obtenerse, la decisión entonces debe basarse en los datos disponibles, los cuales caen en la categoría de información general.
- b) Conocimientos: Si quien toma la decisión tiene conocimientos, ya sea de las circunstancias que rodean el problema o de una situación similar, entonces estos pueden utilizarse para seleccionar un curso de acción favorable. En caso de carecer de conocimientos, es necesario buscar consejo en quienes están informados.
- c) Experiencia: Cuando un individuo soluciona un problema en forma particular, ya sea con resultados buenos o malos, esta experiencia le proporciona información para la solución del próximo problema similar. Si ha encontrado una solución aceptable, con mayor razón tenderá a repetirla cuando surja un problema parecido. Cuando se carece de experiencia en situaciones de emergencia, ya que no es posible experimentar por cuenta propia, se llevan a cabo simulacros que permitan mejorar el tiempo de reacción y acostumbrarse a la presión a la hora de tomar las decisiones que genera ese tipo de situaciones.
- d) Análisis: No puede hablarse de un método en particular para analizar un problema, debe existir un complemento, pero no un reemplazo de los otros componentes. En ausencia de un método para analizar matemáticamente un problema es posible estudiarlo con otros métodos diferentes. Si estos otros métodos también fallan, entonces debe confiarse en la intuición. Algunas personas se toman a broma la intuición, pero si los otros ingredientes de la toma de decisiones no

señalan un camino que tomar, entonces ésta es la única opción disponible.

- e) Juicio: El juicio es necesario para combinar la información, los conocimientos, la experiencia y el análisis, con el fin de seleccionar el curso de acción apropiado. No existen sustitutos para el buen juicio.

2.1.5 IMPORTANCIA DE LA TOMA DE DECISIONES

La toma de decisiones es importante porque, mediante el empleo de un buen juicio, indica que un problema o situación es valorado y considerado profundamente para elegir el mejor camino a seguir según las diferentes alternativas y operaciones.

También es de vital importancia para la gestión del grupo de personas a cargo de tomar la decisión, ya que contribuye a mantener la armonía y coherencia del grupo, y por ende su eficiencia.

En la toma de decisiones, considerar un problema y llegar a una conclusión válida significa que se han examinado todas las alternativas y que la elección ha sido correcta. Dicho pensamiento lógico aumentará la confianza en la capacidad para juzgar y controlar situaciones.

Uno de los enfoques más competitivos de investigación y análisis para la toma de las decisiones es la investigación de operaciones, puesto que ésta es una herramienta importante para la administración de la producción y las operaciones.

La toma de decisiones se considera como parte importante del proceso de planeamiento cuando ya se conoce una oportunidad y una meta, considerando como meta en el caso de situaciones de emergencia la resolución de la incidencia. El núcleo del planeamiento es realmente el proceso de decisión, por lo tanto dentro de este contexto el proceso que conduce a tomar una decisión se podría visualizar de la siguiente manera:

- a) Elaboración de premisas.
- b) Identificación de alternativas.
- c) Evaluación de alternativas en términos de la meta deseada.
- d) Elección de una alternativa, es decir, tomar una decisión.

Es posible elaborar una lista de pasos que se aplican a todas las circunstancias en las que se toman decisiones (Moody, 1991). Se puede hablar entonces de un proceso básico conocido como el circuito o pasos de la toma de decisiones.

Existen cinco características de las decisiones:

1. Efectos futuros. Tiene que ver con la medida en que los compromisos relacionados con la decisión afectarán el futuro. Una decisión que tiene una influencia a largo plazo, puede ser considerada una decisión de alto nivel, mientras que una decisión con efectos a corto plazo puede ser tomada a un nivel muy inferior.
2. Reversibilidad. Se refiere a la velocidad con que una decisión puede revertirse y la dificultad que implica hacer este cambio. Si revertir es difícil, se recomienda tomar la decisión a un nivel alto; pero si revertir es fácil, se requiere tomar la decisión a un nivel bajo.
3. Impacto. Esta característica se refiere a la medida en que otras áreas o actividades se ven afectadas. Si el impacto es extensivo, es indicado tomar la decisión a un nivel alto; un impacto único se asocia con una decisión tomada a un nivel bajo.
4. Calidad. Este factor se refiere a las relaciones laborales, valores éticos, consideraciones legales, principios básicos de conducta, imagen de la compañía, etc. Si muchos de estos factores están involucrados, se requiere tomar la decisión a un nivel alto; si solo algunos factores son relevantes, se recomienda tomar la decisión a un nivel bajo.
5. Periodicidad. Este elemento responde a la pregunta de si una decisión se toma frecuente o excepcionalmente. Una decisión excepcional es una decisión de alto nivel, mientras que una decisión que se toma frecuentemente es una decisión de nivel bajo.

En el caso de las situaciones de emergencia es de esperar que la mayor parte de las decisiones que se tomen tengan carácter excepcional y se consideren todas como decisiones a alto nivel.

Las decisiones pueden estar divididas en dos categorías.

- a) Decisión programada:

Son decisiones programadas en la medida en que son repetitivas y rutinarias, y así mismo en la medida que se ha desarrollado un método definitivo para poder

manejarlas. Al estar el problema bien estructurado, el mando no tiene necesidad de pasar por el trabajo y gasto de realizar un proceso completo de decisión.

Estas decisiones programadas cuentan con unas guías o procedimientos (pasos secuenciales para resolver un problema), unas reglas que garanticen consistencias en las disciplinas y con un alto nivel de justicia, aparte de una política, que son las directrices para canalizar el pensamiento del mando en una dirección concreta.

En el caso de las situaciones de emergencia, las decisiones que se toman una vez surgida una incidencia siguiendo los protocolos de actuación establecidos son decisiones programadas. En este sentido es fácil automatizar este tipo de decisiones, sustituyendo la capacidad de los agentes del tren para recordar los protocolos o los propios documentos de las fichas de actuación.

b) Decisión no programada:

Todas las decisiones que no entran dentro de un plan previsto, se consideran decisiones no programadas.

En el caso de situaciones de emergencia, las decisiones que sobrepasan a los protocolos de actuación entran dentro del rango de decisiones no programadas. Es importante que se pueda automatizar también este tipo de decisiones, de modo que los agentes del tren tengan una ayuda adicional a la hora de enfrentarse a situaciones imprevistas.

2.1.7 TOMA DE DECISIONES EN CONDICIONES DE CERTEZA, INCERTIDUMBRE Y RIESGO

Prácticamente todas las decisiones se toman en un ambiente de cierta incertidumbre. Sin embargo, el grado varía de una certeza relativa a una gran incertidumbre, por lo que en la toma de decisiones existen ciertos riesgos implícitos.

En una situación donde existe certeza, las personas están razonablemente seguras sobre lo que ocurrirá cuando tomen una decisión, cuentan con información que se considera confiable y se conocen las relaciones de causa y efecto.

Por otra parte, en una situación de incertidumbre las personas sólo tienen una base de datos muy deficiente. No saben si estos son o no confiables y tienen mucha inseguridad sobre los posibles cambios que pueda sufrir la situación. Más aún, no pueden evaluar las interacciones de las diferentes variables, como es el caso de algunas situaciones de emergencia.

En una situación de riesgo, quizás se cuente con información basada en hechos, pero la misma puede resultar incompleta. Para mejorar la toma de decisiones se puede estimar las probabilidades objetivas de un resultado, al utilizar, por ejemplo, modelos matemáticos. Por otra parte se puede usar la probabilidad subjetiva, basada en el juicio y la experiencia. Afortunadamente se cuenta con varias herramientas que ayudan a los administradores a tomar decisiones más eficaces y se pretende desarrollar un sistema de ayuda a la toma de decisiones.

Es importante distinguir las bases cuantitativas y cualitativas para la toma de decisiones. La gama de técnicas se extiende desde las corazonadas en un extremo hasta los análisis matemáticos complejos en el extremo opuesto.

Desde el punto de vista práctico no existe ni una técnica mejor ni una combinación que deba utilizarse en todas las circunstancias. La selección es individual y por lo general está dictada por los antecedentes y conocimientos del responsable de la toma de decisiones y por los recursos disponibles.

1. Bases no cuantitativas:

Los medios no cuantitativos son útiles, no sólo para los problemas que se refieren a los objetivos, sino también para los problemas que tratan con los medios de alcanzar los objetivos.

En aplicación, las bases no cuantitativas son en alto grado personales, ampliamente conocidas y están consideradas por muchos como la manera natural de tomar una decisión; existen cuatro bases: intuición, hechos, experiencias y opiniones consideradas.

La base de las opiniones consideradas se distingue por el uso de la lógica detrás de la decisión lógica que es explicativa y que se deriva de un cuidadoso análisis de la situación, además existe cuantificación de la decisión tentativa. Para hacer esto se reúnen estadísticas y se relacionan las decisiones.

2. Bases cuantitativas:

Ésta es la habilidad de emplear técnicas presentadas como métodos cuantitativos o investigación de operaciones, como pueden ser la programación lineal, teoría de líneas de espera y modelos de inventarios. Esta herramienta ayuda a los mandos a tomar decisiones efectivas, pero es muy importante no olvidar que las habilidades cuantitativas no deben, ni pueden, reemplazar al buen juicio en el proceso de la toma de decisiones.

Disponen de numerosos medios diferentes que implican mediciones (Bierman, Bonini, & Hausman, 1994). El desarrollo y la aplicación de técnicas cuantitativas aumentaron a mediados de la década de 1940. Este impulso se debió principalmente al mejoramiento en las mediciones, a la disponibilidad de las

computadoras, al interés incrementado en las matemáticas aplicadas y al deseo de métodos más lógicos para los problemas administrativos corrientes.

En su mayor parte cuando se emplean métodos cuantitativos para la toma de decisiones, el énfasis está en los medios, o en la mejor manera de alcanzar el objetivo estipulado.

El resultado final o meta por lo general es dado, por ejemplo como:

- Minimizar el coste de los resultados.
- Maximizar el rendimiento de una cierta variable.

De las bases cuantitativas, los métodos más interesantes de cara a su estudio son:

- Programación lineal:

Es una técnica de decisión que ayuda a determinar la combinación óptima de recursos limitados para resolver problemas y alcanzar los objetivos organizacionales (Arreola Risa & Arreola Risa, 2003). Se encuentra entre los avances científicos más importantes de la segunda mitad del siglo XX, teniendo en cuenta que su impacto desde 1950 ha sido extraordinario.

Para que sea aplicable, la programación lineal debe reunir los siguientes requisitos:

- a) Tiene que optimizarse un objetivo.
- b) Las variables o fuerzas que afectan los resultados poseen relaciones directas o en línea recta.
- c) Hay obstáculos o restricciones sobre las relaciones de las variables.

En el caso de situaciones de emergencia, podría aplicarse a la evacuación de los coches de pasajeros, siendo la variable a optimizar el tiempo de desalojo mínimo, dado un número de pasajeros y una cierta distribución en el interior del vagón.

- Teoría de juegos:

La teoría de los juegos fue desarrollada por el matemático húngaro John von Neumann (1903-1957) y por Oskar Morgenstern (1902-1976) en 1944, gracias a la publicación de su libro *"The Theory of Games Behavior"* (von Neumann & Morgenstern, 1944). Anteriormente los economistas Cournot y Edgeworth habían anticipado ya ciertas ideas, a las que se sumaron otras posteriores de los matemáticos Borel y Zermelo, que en uno de sus trabajos (1913) muestra que juegos como el ajedrez son resolubles. Sin embargo, no fue hasta la aparición del

libro de Von Neumann y Morgenstern cuando se comprendió la importancia de la teoría de juegos para estudiar las relaciones humanas.

Ésta implica el uso de la estrategia de mínimo pensar; se determina el curso de acción que causará a la compañera A el mínimo de molestias y puede seguirse siempre y cuando sus competidores ejecuten la acción más astuta posible para ello. En esta forma el planeamiento de la compañera A se hace más beneficiosa para la compañera A. Pueden ser un tanto limitado y en consecuencia la decisión se basará en antecedentes demasiado estrechos, también es posible exagerar la tradicional y mantener un estatus que sea demasiado rígido.

Aunque por lo general se les considera de manera auxiliar en el entrenamiento administrativo, los juegos de los negocios pueden considerarse como un tipo de técnica cuantitativa para la toma de decisiones.

Las decisiones se expresan en términos cuantitativos, tales como un determinado número de incidencias resueltas, etc. El juego proporciona al responsable de tomar la decisión práctica, conocimiento y la oportunidad de mejorar las acciones administrativas.

- El método de Montecarlo:

Es un método simplificado de simulación, pero también incluye factores de probabilidad. La simulación es guiada por un muestreo al azar para tomar en cuenta la probabilidad de que el evento suceda (Instituto Nacional de Estadística, 1982).

El método se llamó así en referencia al Casino de Montecarlo (Principado de Mónaco) por ser “la capital del juego de azar”, al ser la ruleta un generador simple de números aleatorios. La invención del método de Montecarlo se asigna a Stanislaw Ulam (190 -1984) y a John Von Neumann. El nombre y el desarrollo sistemático de los métodos de Montecarlo datan aproximadamente de 1944 y se mejoraron enormemente con el desarrollo de los ordenadores.

El muestreo al azar se usa para simular sucesos naturales con el fin de determinar la probabilidad de los eventos bajo estudio.

Se emplea una tabla de números al azar para obtener la muestra al azar. El Montecarlo es un medio de tanteo para ver qué sucedería cuando ciertos eventos, normales y anormales, se presenten.

Este enfoque es productivo y dice lo que probablemente sucederá en los eventos reales sin analizar los eventos comprobables existentes. Las aplicaciones posibles son muy numerosas.

Pueden usarse para resolver problemas con estas preguntas típicas:

- ¿Cuál es la probabilidad de un evento o combinación de eventos, que ocurran en un proceso dado?
- ¿Qué decisión debe tomarse en base a las alternativas posibles?
- Líneas de espera (Filas):

Se presentan problemas administrativos debido a:

- a) Se hace esperar a personas, máquinas o materiales debido a instalaciones insuficientes para manejarlos de inmediato.
- b) Ocurre la utilización de las instalaciones a menos del máximo a causa de la secuencia de la llegada de recursos que emplean las instalaciones.

Hay pérdidas de tiempo, mano de obra no utilizada y costos excesivos causados por las líneas de espera o filas. Minimizar estas pérdidas es el objetivo de esta técnica.

Las filas están relacionadas con el flujo, en los casos en los que un recurso (material, personal, tiempo, etc.) es limitado y la cadena de sucesos es lineal, no pudiendo realizarse acciones simultáneas.

Por último hay que destacar como importante también el establecer relaciones entre la toma de decisiones y el rol de las personas a cargo de tomar las decisiones.

Según Edward Spanger y Max Niemeyer, en su publicación *"Types of Men"* (Tipos de Hombres) (Spranger, 1928), sostienen que algunas personas que toman decisiones son tan predecibles en su forma de solucionar un problema que se pueden categorizar de la siguiente manera:

- La Economista, que sólo está interesada en lo que es útil y práctico.
- La Estética, cuyos más importantes valores se encuentra en la armonía y la individualidad, la pompa y el poder.
- La Teórica, interesada en el descubrimiento de la verdad por sí misma; en la diversidad y la racionalidad.
- La Social, que ama a la gente, considera las personas como fines y es amable, simpática y poco egoísta.
- La Política, que se interesa ante todo por el poder, la influencia o el renombre.

- La Religiosa, cuyo valor más importante es la mayor experiencia espiritual, la cual es absolutamente satisfactoria para ella; es una asceta que busca la experiencia a través de la propia negación y dedicación.

En cada caso, para el responsable último de las consecuencias que tenga cada una de las decisiones tomadas será muy importante conocer la naturaleza de las personas que deja al cargo de la toma de decisiones.

2.1.8 IMPORTANCIA DE LA TOMA DE DECISIONES EN GRUPO

Si bien el supervisor casi siempre toma las decisiones solo, hay ocasiones en que debe aprovechar la ventaja de contar con su grupo de subordinados para tomar ciertas decisiones.

La toma de decisiones en las organizaciones modernas son realizadas en grupo o comités de trabajo, y quedan individualizadas en el momento en que las mismas pasan a formar parte de las bien estructuradas o estándar.

Estas decisiones individuales o grupales tienen cada una de ellas sus ventajas y desventajas, que influyen de manera determinante en el rol de la gerencia de una organización.

A continuación se analizan las ventajas y desventajas del trabajo en grupo o comités:

- Ventajas:
 - Información y conocimiento más completos. Lógicamente un grupo logra recopilar más información, teniendo acceso a más fuentes informativas que un solo individuo, independiente de la educación y de la experiencia de éste. Por lo tanto los grupos pueden ofrecer mayores aportes, tanto en la cantidad como en la diversidad para la toma de decisiones.
 - Incrementar la aceptación de una solución o bien la variedad de puntos de vista. Muchas decisiones fracasan después de elegida una opinión, debido a que un sector de gente no la acepta como una solución posible, ya que cada uno de sus integrantes tiene un punto de vista propio que difiere, en cierta medida, del de los demás; como resultado, la cantidad y tipos de opciones son mayores que los del individuo que trabaja solo. La participación en grupo facilita una amplia discusión y una aceptación más participativa. Es posible que haya divergencias en los acuerdos, pero se plantea y permite su

discusión para cuando ya sea aceptada, sea un compromiso de todo un conjunto. Es difícil que los asistentes al grupo de discusión ataquen o dificulten una decisión que ellos ayudaron a desarrollar. Las decisiones grupales incrementan la aceptación de la solución final y facilitan su instrumentación.

- Incrementan la legitimidad. Los métodos democráticos son aceptados por todos los componentes de la sociedad. Cuando el proceso es grupal, intervienen todos los aditamentos de los ideales democráticos. Si el tomador de decisiones no consulta a otros antes de tomar una de ellas, el hecho del poder que tiene no le exime de quedar como una persona autoritaria y arbitraria. Las decisiones grupales no tienen la varita mágica de la perfección, pero sin lugar a dudas son las menos peligrosas y por lo tanto las que tienen un menor nivel de error.
 - Reducción de los problemas de comunicación. Puesto que el grupo participa en la toma de decisión, todos sus integrantes son conscientes de la situación, y por lo general la puesta en marcha de la solución se realiza sin tropiezos. Las preguntas, las objeciones y los obstáculos a los que normalmente se enfrenta la implantación de una decisión con frecuencia desaparecen, cuando esta última es resultado de la participación del grupo.
- Desventajas:
- Requieren mucho tiempo. El reunir al grupo toma su tiempo, pero con una buena organización, las reuniones estarán programadas de antemano en un espacio de tiempo oportuno (varía de acuerdo a la organización y no debe ser menor de dos semanas). El resultado es que los grupos consumen más tiempo en alcanzar una decisión a diferencia de un solo individuo.
 - Presiones de aceptación. Si bien se supone que todos los miembros del grupo deben sentirse libres para expresar sus opiniones, sugerencias y recomendaciones, no deja de ser cierto que a veces existe cierta presión para que todo el mundo se reúna y acate el consenso general, llamado con frecuencia “pensamiento grupal”. Esta presión puede provocar que el grupo pase por alto un consejo o sugerencia positiva de algunos de los presentes. Se presiona a los inconformes para que se ajusten y adhieran a la opinión de la mayoría. En los grupos existen presiones sociales. El deseo de los miembros del grupo de ser aceptados y por lo tanto ser protagonistas, puede resultar en un intercambio de pareceres condicionado a deseos de una demostración de un liderazgo. Finalmente se llegará a un mismo resultado que necesariamente debe ser aceptado por todos para tener validez.

- Responsabilidad ambigua. Los miembros de un grupo tienen que compartir la responsabilidad, por lo tanto la individualidad se diluye, dándole un gran valor a los resultados.
- El compromiso. En ciertas ocasiones el grupo se estanca y se muestra incapaz de llegar a un acuerdo sobre qué soluciones recomendar. Obligados a tomar una decisión, se alienta a los miembros a llegar a un compromiso o a darse por vencidos, aceptando una versión diferente de su solución. Este inconveniente es muy usual cuando el grupo se subdivide en grupos más pequeños, cada uno de los cuales apoya una solución diferente.

Como conclusión queda decir que el responsable del proceso de la toma de decisiones debe familiarizarse con el circuito básico de toma de las decisiones y sus ingredientes.

Una vez reconocidos estos ingredientes básicos, debe prestarse atención al carácter de quien toma la decisión, tanto individualmente como en grupo. Debido a que la mayoría de las decisiones tienen efecto sobre la gente, el responsable no puede ignorar la influencia de las relaciones humanas en una decisión, especialmente cuando se selecciona una técnica para tomarla.

Sin embargo, una vez que se haya procesado toda la información y al mismo tiempo comprendido cuáles son los ladrillos básicos para la construcción de la toma de decisiones, aún se requiere un ingrediente más para que el responsable tome las decisiones acertadas. La persona que no desee correr riesgos nunca tendrá éxito como responsable de la toma de decisiones. Un supervisor debe tener el buen juicio para saber que tanta información debe recoger la inteligencia para dirigir la información y, lo más importante de todo, el valor para tomar la decisión que se requiere cuando ésta conlleva un riesgo. La cualidad personal del valor para aceptar la responsabilidad de una decisión (sea ésta buena o mala) separa a las personas ordinarias de quienes toman decisiones excelentes.

2.2 SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN (SAD)

Un sistema de ayuda a la decisión (SAD) es un sistema de información que se diseña para suministrar información y ayudar al administrador y/o gestor en la toma de decisiones efectivas (Molinero, 2011).

2.2.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Según Keen, el concepto de apoyo a las decisiones ha evolucionado desde dos áreas principales de investigación: los estudios teóricos de organización de la toma de decisiones, hechos en el Carnegie Institute of Technology a finales de 1950 y comienzos de 1960, y el trabajo técnico sobre sistemas informáticos interactivos, principalmente llevadas a cabo en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en la década de 1960.

Los sistemas de ayuda a la decisión (SAD) surgieron en la década de los 1960 debido por un lado a la evolución tecnológica marcada por las necesidades económicas y empresariales, y, por otro, por el afán de superación desde el punto de vista empresarial y tecnológico. Se basan en el procesamiento electrónico de datos y modelos que reflejen las situaciones que llevan a la toma de decisiones.

Durante esta época tienen una evolución difícil, ya que cuando se trata de la toma de decisiones se topan con gerentes contradictorios, que impiden su buen desarrollo.

En la década de los 1970 comienza su lanzamiento con un cambio de visión, los sistemas de ayuda se venden como herramientas que presentan buenas decisiones, entienden mejor a la empresa y sirven de aprendizaje. Se consideran herramientas de propiedad exclusiva con ventajas competitivas.

En la década de los 1980 se añaden módulos de Inteligencia Artificial (IA), y finalmente en la década de los 1990 los SAD procesan cualquier tipo de información.

2.2.2 DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE AYUDA A LAS DECISIONES

Los sistemas de ayuda a las decisiones (SAD) se enfrentan a ciertas dificultades:

- Tienen una evolución tecnológica muy rápida.
- Dependen de la dinámica del mercado.

Los SAD son sistemas interactivos que ayudan en el proceso de decisión de problemas mal estructurados. Se trata de un sistema de apoyo, que respalda o que refuerza las distintas etapas del proceso de decisión, pero que nunca automatiza el proceso.

De cara al diseño de un SAD los pasos a seguir serían los mostrados en la Figura 2. 2.



FIGURA 2. 2 PASOS DEL DISEÑO DE UN SAD

Durante el diseño de un SAD se deben tener en cuenta cuatro fases:

- Fase inteligente.
- Fase de diseño.
- Fase de elección.
- Fase de ejecución.

A continuación se describen cada una de las fases en mayor detalle.

a) Fase inteligente:

En la fase inteligente los objetivos fundamentales son recopilar información sobre el proceso de la toma de decisiones y gestionar contactos regulares con los responsables de la toma de decisiones o los gerentes al cargo del problema.

Se deben recoger datos sobre las situaciones a las que se enfrentará el sistema, el histórico de decisiones que ya ha habido y los resultados de estas, la posible información que se tenga sobre los potenciales tomadores de la decisión, etc.

Para la búsqueda de datos se pueden utilizar informes existentes o herramientas más modernas como procesamiento analítico en línea (OLAP, del inglés, *On-Line Analytical Processing*), que constituyen sistemas en línea, en tiempo real y analizan relaciones complejas entre millones de datos (Holsapple, 2004). Estos sistemas permiten descubrir patrones y condiciones de excepción en las tendencias de comportamiento de los datos.

b) Fase de diseño:

La fase de diseño se basa en el modelado y en la búsqueda de alternativas para conformar el sistema.

El modelo del sistema tiene gran importancia, y se debe elegir de acuerdo a las futuras aplicaciones de éste. Fundamentalmente hay dos modelos:

- Nivel superior: utilizado para planificación estratégica o informes. Exploran alternativas, desarrollan planes, permiten crear pronósticos, etc.
- Nivel inferior: utilizado para tomar decisiones recomendables.

Las ventajas de realizar un buen modelado del sistema son que obliga a los decisores a clarificar el problema, a explicitar objetivos y decisiones, a establecer restricciones (limitaciones y requerimientos) de las alternativas y los objetivos, y se facilitan las tareas de trabajo en equipo (políticas de actuación).

A la hora de identificar y buscar las posibles alternativas para el desarrollo del sistema hay diversos métodos:

- Implementación de técnicas (como la tormenta de ideas).
- Informes de cómo de buenas o (im)practicables son las ideas.

c) Fase de elección:

Consiste en la realización de análisis sensitivos y cambios de escenarios hasta que se encuentre el modelo ideal para el desarrollo del sistema.

d) Fase de ejecución:

En esta última fase ha de realizarse un análisis y una recopilación de los resultados que conllevan las actividades.

Es importante seguir la pista de las decisiones que se han tomado, mediante la monitorización de los planes y acciones, y mediante informes.

Se trata de sistemas específicamente diseñados para apoyar el proceso de decisión. Están conformados por tres bases fundamentales como muestra la Figura 2. 3.



FIGURA 2. 3 BASES DE UN SISTEMA DE AYUDA A LAS DECISIONES

Son sistemas de apoyo y/o soporte con las siguientes características:

- Tipo de usuarios: decisores de medio/alto nivel. Los usuarios tienen control completo del sistema.
- Número de decisores: individual o a grupos. En el caso de grupos los diferentes decisores pueden estar comunicados entre sí por intranets y extranets. Hoy en día lo más común es que sea por Internet.
- Tipo de problemas:
 - Según conocimiento: semi y no estructurados. Se trata de problemas con gran cantidad de incertidumbre.
 - Según entorno: Operaciones, administración financiera y estrategias de decisión.

Son sistemas *ad hoc*, es decir, son sistemas en donde se busca únicamente lograr un desarrollo que dé respuesta al problema en el que se está trabajando, sin dotar al desarrollo de la necesaria modularidad que permita reutilizar sus componentes en el futuro.

Esto significa que se desarrollan para organizaciones e industrias concretas, como es este caso para situaciones de emergencia en el transporte ferroviario de viajeros, ya que contienen descripciones de algunos aspectos en la organización.

Los resultados que se obtienen del SAD serán la especificación de cómo desarrollar ciertas tareas e indicaciones de qué conclusiones son válidas en distintas circunstancias.²

Se realiza una adquisición y mantenimiento del conocimiento descriptivo (registros) y de otros tipos (procedimientos, reglas, etc.) de la organización.

El nivel de manipulación de estos sistemas debe ser fácil:

- A nivel de usuario:
 - Lenguaje: fácil aprendizaje y uso.
 - Visual: fuertes capacidades gráficas.
- A nivel de programador: adaptables en el tiempo (muy flexibles).

Un SAD debe servir también como ayuda a decisores de distintos niveles y debe de ser fácil de construir.

2.2.4 COMPONENTES

Diferentes autores identifican diferentes componentes para un SAD. Según Sprague y Carlson (Sprague & Carlson, 1982), a la hora de analizar los Sistemas de Ayuda a las Decisiones (SAD), estos se pueden descomponer en tres partes fundamentales, como muestra la Figura 2. 4.



FIGURA 2. 4 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AYUDA A LAS DECISIONES

Cada uno de estos componentes se puede estudiar en detalle por separado:

- Componente de base de datos:
 - Datos estructurados (operativos).
 - Datos no estructurados (abstracciones de los operativos).
 - Datos geográficos (contenido y significado geográfico o espacial).
 - Reglas (los expresados por relaciones).
- Componente de Base de Modelos:
 - Almacenamiento:
 - Módulos de programa.
 - Plantillas en hojas de cálculo.

- Componentes de programas estadísticos y matemáticos.
- Uso:
 - Cargando el/los modelo/s.
 - Complejidad. Viene determinada por la combinación de componentes de modelos, que da lugar a los diferentes tipos.
 - Específicos de decisiones.
- Tipos:
 - Financieros, de análisis de decisiones, de predicción, de optimización y de simulación.
 - Inteligencia Artificial (IA): Lógica, redes semánticas, marcos (*frames*), pizarras, ontologías, etc.
- Componente de Interfaz con el usuario:
 - Tiene gran importancia porque:
 - Define los tipos de SADs.
 - Los gestores perciben la calidad del SAD por lo que ven más que por lo que contiene.
 - El aprendizaje: Éxito/Fracaso del SAD.
 - Tipos:
 - Líneas de comandos. Se basan en órdenes imperativas. Son potentes, ya que permiten tener control sobre el programa, pero son difíciles ya que requieren gran conocimiento de las líneas de comando y de la sintaxis por lo que no son deseables.
 - Preguntas y respuestas. Se basan en la comunicación entre el ordenador y el usuario mediante respuestas, que pueden ser frases, sentencias o datos, y preguntas en función de las respuestas. Por un lado son el futuro, ya que permiten un lenguaje natural y se pueden integrar en la realidad virtual, y tienen como gran ventaja más interactividad. Sin embargo, el programador debe anticipar preguntas. Aún así son algo deseable.
 - Basados en menús. El ordenador muestra al usuario posibles elecciones para cada tarea y el usuario debe seleccionar una. Como ventajas tiene la agrupación lógica y jerárquica de opciones,

pero tiene un gran consumo de tiempo en el diseño de las barras e iconos. Son muy deseables y, por tanto, muy usados.

- Basados en gráficos. Se basan en iconos y constan de ventanas, de comandos, iconos, menús o diálogos. Tienen las mismas ventajas e inconvenientes que los basados en menús, pero son más intuitivos y amigables para el usuario, por lo que son los más deseables y los más usados. Es el tipo que se ha elegido para el desarrollo del sistema de este proyecto.

Para la construcción de un SAD se pueden utilizar diversas herramientas:

- Generadores de SADs.
- Herramientas de informes y preguntas.
- Software para desarrollo *front-end* (de cara al usuario) de líneas de comandos.

2.2.5 ARQUITECTURA

Desde el comienzo de su desarrollo ha habido una gran evolución en cuanto la comunicación entre los componentes de los Sistemas de Ayuda a las Decisiones, como se explica en la Figura 2. 5.

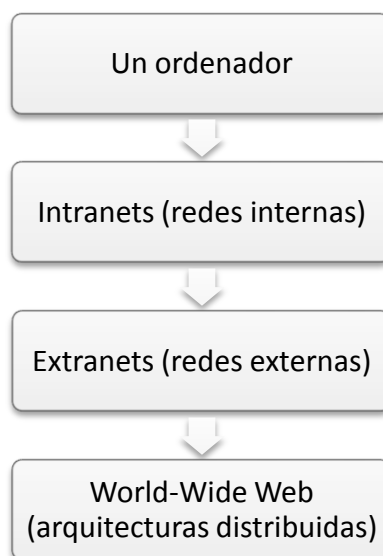


FIGURA 2. 5 EVOLUCIÓN DE LA COMUNICACIÓN EN LOS COMPONENTES DE UN SAD

Hoy en día la comunicación entre componentes se realiza principalmente mediante una arquitectura web, mediante protocolos TCP/IP y cliente/servidor. Esto tiene como principal ventaja la administración de los datos y modelos con poco esfuerzo, pero tiene como desventaja su puesta en marcha. Este tipo de comunicación complica la administración del sistema debido al número de usuarios, ordenadores o componentes en el sistema, y a posibles problemas seguridad (hackers, virus, etc.).

Por estas razones se ha elegido para el prototipo del Sistema de Ayuda a la Decisión un sistema de comunicación interno entre ventanas, basado en una sola unidad PC, aunque se prevé ampliarlo a una red interna de cara a su implantación en un sistema real de a bordo. El uso mediante internet en un principio no presenta ventajas para esta aplicación, puesto que es poco probable que la red de datos funcione correctamente a bordo de los trenes en los que se implante.

En cuanto al hardware, los elementos principales serán:

- Cliente.
- Servidor.
- Servidor de datos y modelos.

En la Figura 2. 6 se describe la arquitectura hardware de un Sistema de Ayuda a la Decisión en cuanto a la comunicación entre los componentes.

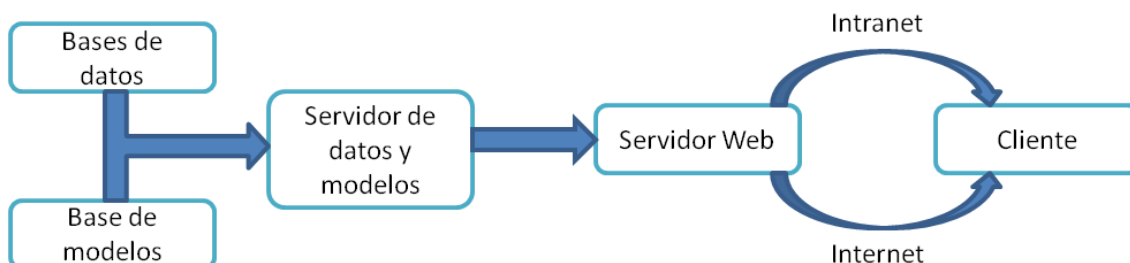


FIGURA 2. 6 ARQUITECTURA HARDWARE DE UN SAD

En cuanto a la arquitectura software, en la Figura 2. 7 se detallan cada uno de sus componentes.

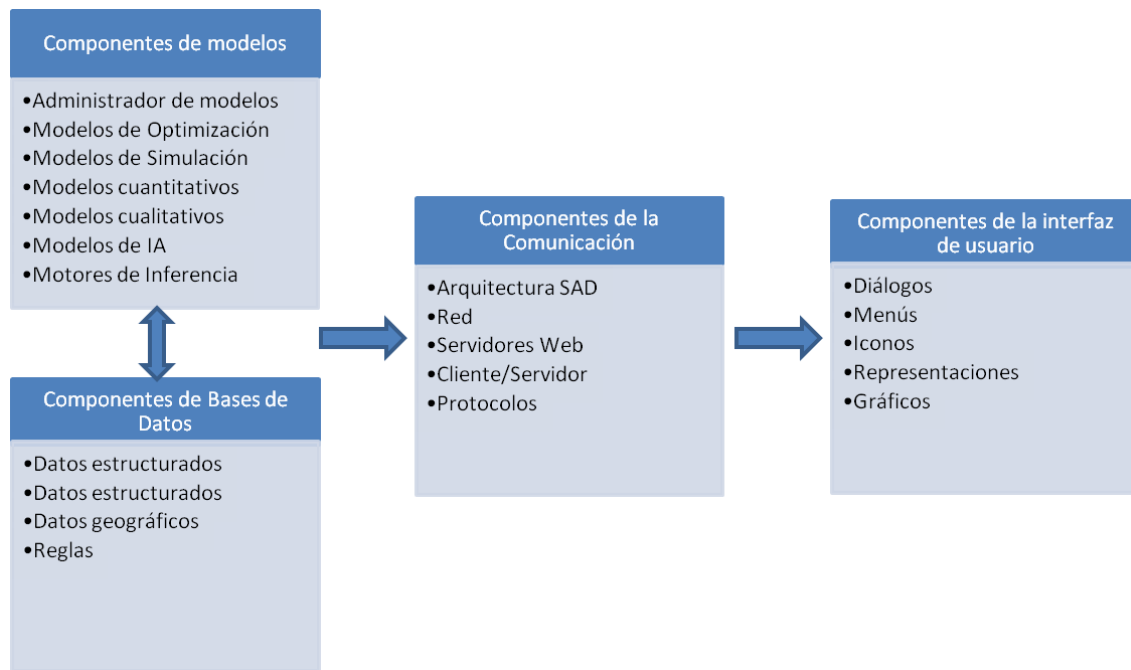


FIGURA 2. 7 ARQUITECTURA SOFTWARE DE UN SAD

2.2.6 VENTAJAS

La ventaja principal es facilitar la comunicación (inter)personal entre varios usuarios: puesta en común de los juicios, ideas o valores.

Por otro lado fuerza al debate, sobre si está bien hecho y en el caso de un único usuario le hace reflexionar sobre el porqué y el cómo del resultado. De este modo mejora la eficiencia del usuario, dándole más tiempo y permitiendo mayor complejidad en los problemas a los que se enfrenta, ya que se resuelven antiguos y nuevos problemas.

Se mejora la calidad de las decisiones:

- SAD responde en menor tiempo.
- SAD considera más alternativas.
- SAD presenta información imparcial, relevante y consistente.

Este tipo de sistemas promueven el aprendizaje y el desarrollo, tanto en usuarios noveles, para entender situaciones, como en expertos, para simulaciones.

Incrementa el control de la organización y monitorizan los datos y a los usuarios. De esta forma se puede realizar un seguimiento de las acciones de los usuarios frente a cada situación.

2.2.7 INCONVENIENTES

Pese a todo lo expuesto, los Sistemas de Ayuda a la Decisión no son la panacea de las tomas de decisiones.

Por un lado hay que estudiar concienzudamente el rendimiento y la eficiencia del SAD.

Un SAD es eficaz si el costo de su construcción es justificable a niveles:

- Técnico (recursos que necesita y aporta) y
- Empresarial (modifica el modo de ver y tomar decisiones).

A la hora de dar por buena la información que nos proporciona el SAD hay ciertas restricciones que hay que tener en cuenta, como pueden ser por ejemplo:

- Datos que pueden obtener.
- Costes para su: obtención / procesamiento / almacenamiento.
- Valor de la información.

Otro aspecto a tener en cuenta es el rendimiento y la eficiencia en su utilización. Un decisor es eficaz con el SAD si acepta y procede con el SAD. Esto acarrea otras restricciones:

- Restricciones en el lugar de origen. Tipo de modelos financieros de los países (idioma, horarios, etc.).
- Restricciones legales. Exportación de datos o técnicas entre países, derecho a la privacidad, etc.
- Restricciones técnicas. Es posible que la capacidad técnica del lugar en el que se implante el sistema no sean las mismas, no será lo mismo su utilización en un país desarrollado que en uno subdesarrollado.
- Restricciones culturales. Colores, iconos o estilo de lenguaje en el SAD tienen influencia sensitiva y política. Costumbre en el modo de tomar decisiones: jerarquías, democracias, etc.

- Restricciones en su utilidad. Algunos SAD tienen una función demasiado restringida.
- Restricciones de conocimiento. Pueden venir por necesitar más conocimiento de Software o por un uso impropio del sistema.

3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES GENERALES DEL SISTEMA

En primer lugar hay que definir las variables fundamentales que afectan al proceso de toma de decisiones en el transcurso de situaciones de emergencia en trenes, desde la detección precoz hasta el desarrollo de cada una de las posibles incidencias.

Durante la circulación de un tren, hay tres elementos fundamentales que definen el entorno en el que se suceden los diferentes eventos:

- La infraestructura de la línea por la que se está circulando.
- El tren que realiza el trayecto.
- Los agentes humanos que están a bordo del tren y los que se ocupan del control del itinerario desde el Puesto de Mando.

Las relaciones entre los diferentes elementos se detallan en el diagrama de bloques de la Figura 3. 1.

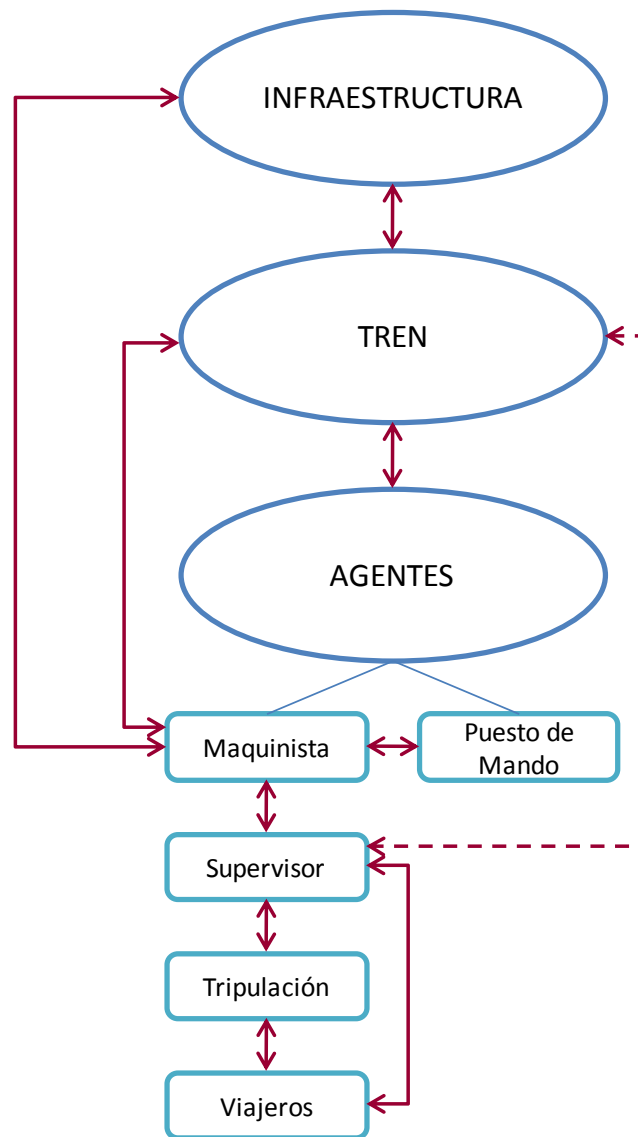


FIGURA 3. 1 ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL ENTORNO DEL SISTEMA

Cada uno de los elementos se relaciona con los demás de una forma determinada que habrá que tener en cuenta, así como la jerarquía que rige entre ellos.

Cada uno de los elementos introduce una serie de variables en el sistema, que son las que hay que identificar. A continuación se describen las variables más importantes y que se deben tener en cuenta en el caso más general de estudio:

- Infraestructura de la vía:
 - Características de la línea, tales como el trazado y los elementos presentes en ella como estaciones, zonas neutras, viaductos o túneles.
 - Curva de velocidades de la línea. En el caso ideal, los datos de velocidad deberían recogerse del tren, pero es importante tener la

información de las consignas de velocidad oficiales de la línea para estimar con antelación la llegada a cada uno de los puntos singulares.

- Estado de la vía y actuaciones sobre ella, como obras o labores de mantenimiento.
- Tren:
 - Características propias del modelo del tren, como capacidad del pasaje, número de personas de movilidad reducida (PMR), localización de los asientos, salidas de emergencia, etc.
 - Sistemas de detección y aviso del tren. En el caso ideal, el sistema de ayuda a la decisión debería estar conectado con estos sistemas y recibir información de ellos en tiempo real.
 - Sistemas de comunicación del tren.
- Agentes humanos:
 - A bordo del tren:
 - Maquinista. Es el que para y pone en marcha el tren y recibe la información sobre sus sistemas de detección. También es el que conoce la información sobre las consignas de velocidad y el estado de la vía.
 - Supervisor o interventor. Tiene el mayor poder en la ante cualquier incidencia.
 - Resto de la tripulación. Puede haber distinto número de tripulantes según los trenes y las circulaciones. En el caso general todos deben tener acceso al sistema de ayuda a la toma de decisiones.
 - Pasajeros. Estos no tienen acceso al sistema de ayuda, tan sólo reciben órdenes sobre las acciones establecidas ante una situación de emergencia, de modo que se excluyen en su desarrollo.
 - En el Puesto de Mando. Estos agentes tampoco tienen acceso al sistema de ayuda, recibirán y enviarán información al maquinista cuando sea necesario.

3.2 DEFINICIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS AL SISTEMA

A partir de las variables generales del sistema que se derivan de los elementos del entorno y del resto de variables que intervienen en el proceso de toma de decisiones ante situaciones de emergencia se establece el esquema fundamental para el desarrollo del sistema.

En la Figura 3. 2 se detalla el diagrama de flujo del sistema durante todo el proceso del desarrollo de una incidencia.

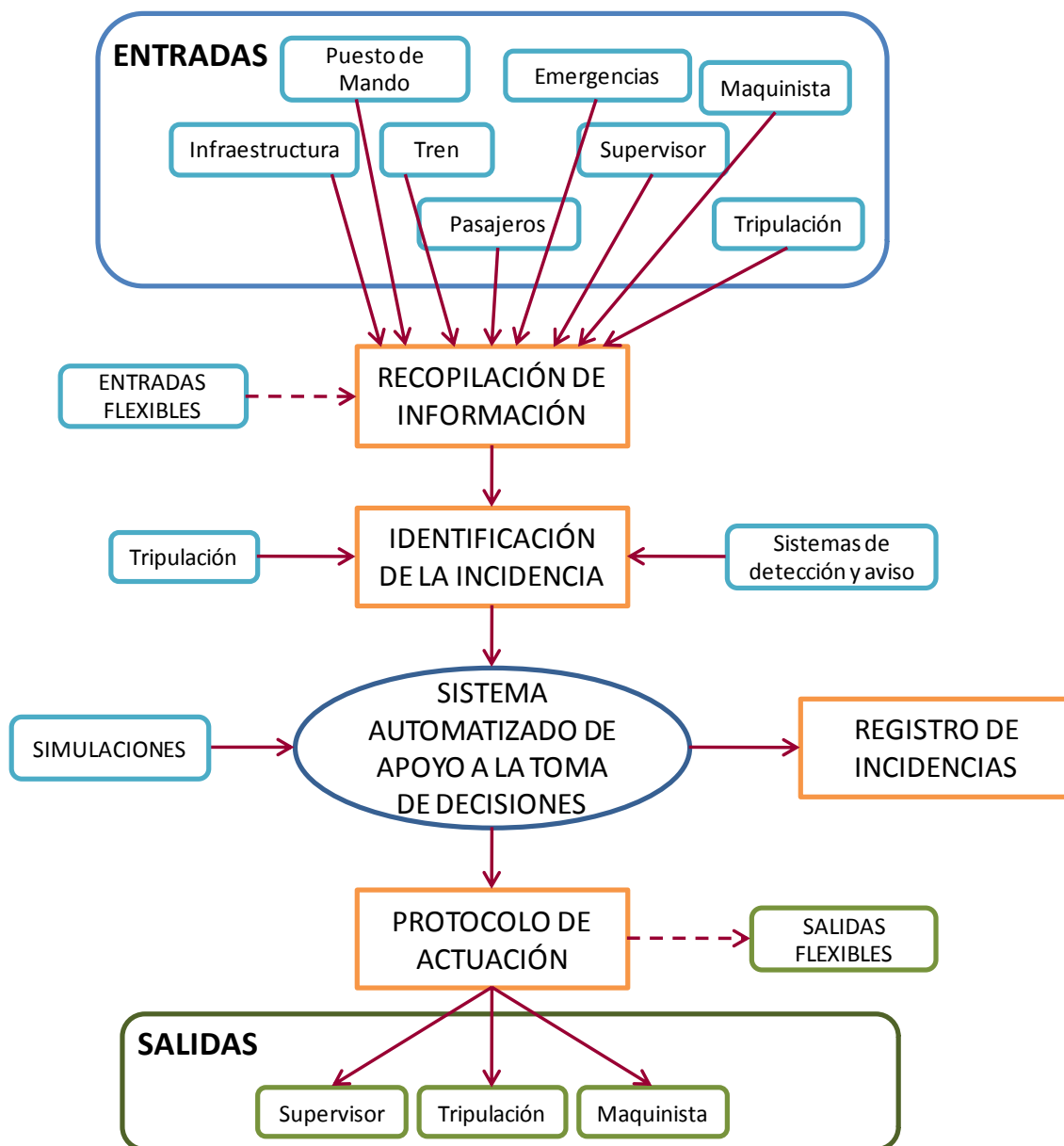


FIGURA 3. 2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA

En este diagrama aparecen las entradas y salidas previstas del sistema, así como las denominadas variables flexibles que permitirán dejar abierto el sistema para su posterior ampliación y perfeccionamiento.

Las principales entradas al sistema serán las informaciones que puedan recopilarse del entorno y de las emergencias conocidas.

En un principio, para el desarrollo de un demostrador del sistema, se tendrán en cuenta sólo aquellas variables de las que se pueda disponer sin la intervención de otros participantes en el proyecto. En este sentido, se deja abierta la posibilidad de recibir información directa de los sistemas de detección y aviso del sistema, y se sustituyen dichas variables por datos simulados. También se deja abierta la posibilidad de recibir información de simulaciones sobre el desalojo del tren, tiempo de respuesta de los viajeros, tiempo de evacuación, etc. que en un primer lugar no está disponible.

Por estas razones se ha elegido como desarrollo y alcance del proyecto la evacuación de trenes en túneles como caso más singular y complejo en el compromiso con la seguridad, y sin que ello contravenga la generalidad de casos.

En un primer desarrollo del sistema la detección de la incidencia se hará por parte de la tripulación del tren, es decir, por parte de uno de los agentes humanos a bordo del tren de forma manual, aunque se prevé que en un futuro esta detección se produzca de forma automática a partir de la información recogida directamente de los sistemas de detección y aviso a bordo del tren.

Por otro lado, ya que el sistema pretende dar seguridad a la circulación en tren ante situaciones de emergencia, debe ser posible reconstruir paso a paso su funcionamiento durante la aparición y desarrollo de una incidencia que dé lugar a una situación de emergencia. En este sentido se hace necesario realizar un registro simultáneo de todas las acciones llevadas a cabo durante el funcionamiento del sistema, y que sea accesible a la tripulación para su posterior supervisión.

Una vez analizada una incidencia, el sistema debe generar internamente una serie de actuaciones, protocolizarlas y transmitírselas paso a paso a los agentes humanos, lo que constituirá la salida fundamental del sistema.

3.3 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA

De cara al desarrollo del modelo del sistema es necesario evaluar detalladamente cada una de las variables que se han definido para el sistema.

En primer lugar se evaluarán las variables involucradas en la detección prematura y resolución de incidencias involucradas en el sistema.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA DE CIRCULACIÓN

Se ha llevado a cabo un estudio de las características de diferentes líneas de Alta Velocidad, en particular aquellas que contaran con información sobre sus túneles, como es el caso de las líneas Valladolid-Málaga y Lérida-Barcelona.

Entre sus instalaciones y dispositivos de detección, aviso y resolución de incidencias destacan:

- *Sistema de alumbrado de emergencia y de señalización de evacuación del túnel.* Estos sistemas obligatorios en todos los túneles, no influyen en el sistema a modelar pero son necesarios para la correcta funcionalidad del mismo.
- *Sistemas de comunicaciones.* Los sistemas de comunicación instalados en los túneles (teléfonos S.O.S., megafonía, etc.), cobran importancia en caso de necesidad de evacuación en el mismo. La comunicación entre todas las partes implicadas en la evacuación debe ser continua (puesto de mando, maquinista, interventor y resto de la tripulación).
- *Sistemas de detección, ventilación y bombeo.* Los túneles actuales están dotados de potentes sistemas de detección y extinción de incendios comprendiendo: detectores de humos (fotoeléctricos o iónicos), detectores térmicos e, incluso en los túneles modernos, detectores lineales de temperatura mediante fibra óptica. En cuanto a los mecanismos de extinción se cuenta con extintores portátiles cada cierto espacio, bocas de incendios equipadas, sistemas de columna seca e hidrantes, etc. Un incendio en el interior del túnel es una incidencia que puede causar la detención prolongada e incluso la evacuación del tren.
- *Sistemas de meteorología y detección de terremotos.* Estos sistemas implementados en los túneles actuales ponen sobre aviso a los responsables de la circulación sobre posibles inclemencias ambientales

que puedan hacer peligrar el tráfico. Aunque este tipo de incidencias se producen con una frecuencia muy baja, estos sistemas son necesarios.

- *Sistemas anti-intrusión.* La presencia de personas no reconocidas en las instalaciones del túnel pone en peligro la circulación ante posibles sabotajes, actos vandálicos o terroristas.
- *Sistemas de detección de caída de objetos a la vía.* Para evitar arrollamientos y colisiones se utilizan ese tipo de sistemas basados en vallas abatientes que al soportar un determinado valor de carga (obstáculo) se abaten cortando un cable de fibra óptica que manda una señal de alarma al telemando.
- *Sistemas de detección de cajas calientes y frenos agarrotados.* Estos sistemas ubicados en la vía recogen una imagen térmica de los cojinetes y de los frenos del vehículo y mandan, en caso de considerar dicha imagen defectuosa, una señal de alerta al telemando.

3.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL TREN

Para el estudio de las instalaciones y dispositivos de detección, aviso y resolución de incidencias que tiene implementados el tren nos centraremos en principio exclusivamente en la Serie 102 de Renfe, como caso más general.

Entre estas características destacan:

- *Sistemas de control de tráfico.* El tren está equipado con los sistemas: ATP, ASFA, LBZ, ERTMS. Estos permiten identificar diversas incidencias que puedan producirse mediante la comunicación entre la vía, el tren y el puesto de mando.
- *Contador de ejes / circuito de vía.* Estos sistemas permiten determinar de forma rápida y precisa la posición del tren y combinados con los sistemas de control de tráfico el sentido de su marcha y velocidad. Esto es importante de cara a gran cantidad de incidencias, especialmente las que implican evacuación del tren.
- *Sistema de detección de incendios.* El equipo está compuesto por dos centralitas de vigilancia, una en la cabeza motriz y otra en el puesto de supervisión, y un total de 31 detectores de humo de tipo iónico.
- *Tirador del tren.* Informa al maquinista que comprueba la incidencia y decide si detener el tren o no.

- *Intercomunicación / puestos de locución.* La comunicación entre el maquinista y el resto de la tripulación se realiza a través de siete puestos de locución a lo largo del tren que se encuentran:
 - Uno en cada cabina de conducción (maquinista).
 - Uno en cada uno de los tres Galleys existentes, coches 2, 5 y 12 (azafatas).
 - Uno en el local de supervisión coche 12 (interventor).
 - Uno en la cafetería (camarero).

3.3.3 TIPOS DE SITUACIONES DE EMERGENCIA

En el sistema también intervienen como factores fundamentales los posibles tipos de situaciones de emergencia que puedan darse durante la circulación, ya que la identificación de un tipo de emergencia u otra provocará distintos protocolos de actuación.

Las situaciones de riesgo se pueden dividir fundamentalmente en los riesgos internos, asociados a las instalaciones de la propia red ferroviaria, y los riesgos externos, ajenos a las instalaciones de la red ferroviaria.

Dentro de los riesgos internos se encuentran los riesgos:

- Asociados al tráfico ferroviario. En esta categoría entran:
 - *Paradas o detenciones no programadas de corta duración:* pueden producirse por problemas de tráfico, accionamiento de los frenos de emergencia, etc.
 - *Paradas o detenciones no programadas de larga duración:* puede producirse por avería en la vía, amenaza de atentado, etc.
 - *Descarrilamiento:* puede producirse por ejemplo por averías en la vía, excesos de velocidad o condiciones meteorológicas adversas.
 - *Colisión frontal o por alcance contra otros trenes u obstáculos:* se pueden producir por fenómenos meteorológicos adversos, desprendimientos de tierras, por las presiones aerodinámicas producidas en el cruce de trenes.
 - *Arrollamiento de personas u objetos.*

- *Averías en el tren:* desde el material motor o de freno hasta cualquier otro sistema que pueda poner en peligro la circulación normal del tren.
- *Averías en la vía:* debidas al deterioro de la misma, acciones mecánicas externas, levantamiento o hundimiento del terreno, accidentes, colisiones o derrumbamientos.
- *De tipo físico-químico.* En esta categoría entran:
 - *Incendio en trenes:* pueden deberse a fallos de tipo mecánicos como calentamiento de frenos, motores u otras piezas mecánicas, a errores humanos, o a una autoignición de la mercancía.
 - *Incendio en las instalaciones:* en el cuarto técnico, en autotransformadores, etc.
 - *Explosión:* puede producirse en una locomotora, centro de transformación u otra instalación o equipo de mantenimiento, así como debido a atentados terroristas.
- *De tipo técnico.* En esta categoría entran:
 - *Inundación:* debido al perfil de los túneles a estudiar esto no es posible mas que en galerías de comunicación o cuartos técnicos y no en los tubos en sí. Se pueden producir por lluvias torrenciales, rotura de canalizaciones próximas o filtraciones.
 - *Hundimiento.*
 - *Avería de una instalación no ferroviaria:* como alumbrado de emergencia, señalización de evacuación, sistema de comunicaciones, sistema de ventilación, sistema de protección contra incendios, etc. Fallos en estas instalaciones no producen incidentes en sí, pero disminuyen el nivel de seguridad en el túnel.
 - *Fallo en el suministro eléctrico:* la falta de suministro eléctrico en la catenaria produciría una pérdida de tracción y por lo tanto, a no ser que el tren pudiera continuar por gravedad, una incidencia grave.
 - *Condiciones medioambientales en el túnel:* no suponen en general riesgo para los viajeros pero pueden provocar interrupción del tráfico.
 - *Contaminación ambiental:* liberación de gases por fugas en recipientes de transporte.
 - *Vertido de fluidos y aguas residuales:* pueden producirse en centros de transformación, cuartos técnicos del interior del túnel o alguna locomotora. En todos estos casos se trata de pequeños vertidos.

Dentro de los riesgos externos se encuentran los riesgos:

- *De tipo meteorológico o de la naturaleza:* no suponen en general riesgos significativos pero pueden producir problemas en la circulación. Pueden afectar aludes y corrimientos de tierras, seísmos, incendios forestales, vientos fuertes, deshielos, granizo, nevadas, nieblas y tormentas.
- *De origen antrópico:* se engloban aquí todos los errores que se puedan producir por factores humanos como pueden ser: robos en las instalaciones, vandalismo, concentraciones humanas y manifestaciones o sabotajes y actos terroristas. Todos estos actos pueden producir problemas en la circulación de trenes.

Resumiendo todas las posibilidades de situaciones de emergencia comentadas anteriormente podemos clasificar éstas según el tipo de riesgo, nivel de riesgo, frecuencia del fenómeno y necesidad o no de evacuación, como se muestra en la Tabla 4. 1.

TIPO DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	NIVEL RIESGO	FRECUENCIA	EVACUACIÓN
Asociado al tráfico ferroviario	Avería en vía	1	Remoto	NO
	Avería en material móvil	1	Remoto	NO
	Presencia de obstáculo en la vía	1	Ocasional	NO
	Animal suelto en la vía	1	Remoto	NO
	Baja visibilidad por polvo o humo	1	Ocasional	NO
	Detención no programada de larga duración	2	Remoto	NO
		3	Remoto	SÍ
	Arrollamiento de obstáculos	2	Remoto	NO
		3	Remoto	SÍ
	Arrollamiento de personas	3	Improbable	SÍ
	Descarrilamiento	3	Improbable	SÍ
		4	Improbable	SÍ
	Colisión	3	Improbable	SÍ
		4	Improbable	SÍ
De tipo físico – químico	Incendio o explosión en túnel	2	Remoto	NO
		3	Remoto	NO
		4	Improbable	NO
	Incendio o explosión en tren	2	Remoto	NO
		3	Improbable	NO
		4	Improbable	SÍ
De tipo técnico	Incendio o explosión en galerías o locales técnicos	3	Remoto	NO
		4	Remoto	NO
	Inundación de instalaciones	1	Remoto	NO
	Hundimientos	1	Remoto	NO

TIPO DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	NIVEL RIESGO	FRECUENCIA	EVACUACIÓN
	Avería de instalaciones	1	Ocasional	NO
	Fallo suministro eléctrico	1	Ocasional	NO
Condiciones medioambientales en túnel	Contaminación ambiental	1	Remoto	NO
	Vertido de fluidos o aguas residuales en galerías o locales técnicos.	1	Ocasional	NO
	Concentración de gases peligrosos	2	Remoto	NO
	Vertido de líquidos o aguas residuales	2	Ocasional	NO
De tipo meteorológico	Deslizamiento de tierras o aludes	1	Improbable	NO
	Incendios forestales	1	Remoto	NO
	Seísmos	1	Improbable	NO
	Meteorología adversa	1	Improbable	NO
De origen antrópico	Intrusión en el interior del túnel	2	Ocasional	NO
	Robos o sabotajes	2	Ocasional	NO
	Amenaza terrorista al túnel	2	Improbable	NO
		3	Improbable	NO
		4	Improbable	NO
	Amenaza terrorista al tren	2	Improbable	NO
		3	Improbable	NO
		4	Improbable	NO

TABLA 4. 1 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE SITUACIONES DE EMERGENCIA

Los niveles de riesgo utilizados en la Tabla 4. 1 se dividen de la siguiente manera:

- Nivel 1: aumentan el nivel de riesgo de la infraestructura pero no producen daños significativos.
- Nivel 2: producen daños materiales pero no en los usuarios.
- Nivel 3: producen pequeños daños personales pero las circunstancias no suponen un incremento de riesgo para el resto de usuarios.
- Nivel 4: situaciones en las que se prevea un gran número de víctimas.

Otro grupo importante de variables a tener en cuenta son las que introduce la tripulación del tren.

Las operaciones a realizar por el personal del tren en caso de emergencia vienen especificadas en las fichas técnicas de actuación del plan de emergencia en trenes de Renfe, concretamente las siguientes:

- Procedimiento operativo de actuación en túneles singulares para la Serie 102.
- Plan de emergencia en trenes, ficha de actuación: tripulación.
- Plan de emergencia en trenes, ficha de actuación: interventor/supervisor.
- Plan de emergencia en trenes, ficha de actuación: maquinista/jefe del tren.

Estas fichas establecen protocolos de actuación para distintos escenarios de emergencia, antes, durante y después de que dicha emergencia suceda, como pueden ser:

- Actuaciones previas a la entrada en túnel.
- Actuaciones dentro del túnel.
- Actuación general en emergencias.
- Actuaciones en incendios.
- Accidentes de personas dentro del tren.
- Arrollamientos de personas o vehículos.
- Evacuación del tren.
- Transbordo de viajeros.

Todas estas actuaciones resaltan primordialmente la comunicación entre el puesto de mando y la tripulación del tren con el objetivo de intercambiar información sobre la emergencia siguiendo la jerarquía que se detalla en la Figura 3. 3.



FIGURA 3. 3 JERARQUÍA DEL SISTEMA

Por último hay que tener en cuenta la influencia que pueden tener los pasajeros del tren en una situación de emergencia.

Para ello habrá que considerar, entre otros, los siguientes factores:

- Conducta humana en situación de peligro: ataques de pánico, vahídos, etc.
- *Variables conductuales que representan el movimiento y la conducta humana en una evacuación:* tiempo de preparación a la evacuación, tiempo de retardo al recoger las maletas, al salir al pasillo, etc.
- *Características del pasaje y la tripulación:* edad, sexo, existencia de personas de movilidad reducida y ubicación de las mismas, etc.

3.4 SUCEOS Y SITUACIONES DE EMERGENCIA QUE COMPRENDE EL SISTEMA

Uno de los pasos fundamentales para definir el alcance del sistema es limitar los sucesos y las situaciones de emergencia que se tendrán en cuenta durante su funcionamiento.

Una vez establecidas todas las posibles situaciones de riesgo en la Tabla 4. 1, junto con su nivel de riesgo, frecuencia de aparición y la necesidad de evacuación de cada una de ellas, de cara al desarrollo del sistema se ha delimitado su alcance a aquellas situaciones que requieran de evacuación del tren y a partir del momento en que provocan la parada del mismo.

Este caso es el más crítico de cara al funcionamiento del sistema, puesto que es el que engloba mayor número de decisiones por parte de los agentes del tren y a partir del que se podrán en un futuro desarrollar el resto de casos mediante la simplificación de los protocolos de actuación.

Como se ha comentado con anterioridad, estas situaciones se engloban dentro de los niveles de riesgo 3 y 4, que se definen de la siguiente forma:

- Nivel 3: Situaciones en las que se producen pequeños daños personales pero las circunstancias no suponen un incremento de riesgo para el resto de los usuarios. La evacuación se realiza sin gran aporte de pánico.
- Nivel 4: Situaciones en las que se prevea un gran número de víctimas. La evacuación se realiza con gran nivel de pánico.

A su vez, las actuaciones que la herramienta propondrá una vez valorada la situación de emergencia estarán de acuerdo con las fichas de actuación del Plan de Emergencia en Trenes de Renfe.

A continuación se muestra un listado de las incidencias principales que considerará la herramienta:

- Detención no programada de larga duración. Debida a anomalías en la infraestructura o en el propio tren que impidan la circulación, como pueden ser: obstáculos en la vía, falta de tensión en catenaria, avería de enclavamientos, inundaciones, nevadas, averías en vehículos, etc. Nivel 3 de riesgo.
- Arrollamiento de personas u obstáculos. Nivel 3 de riesgo.
- Arrollamiento con heridos.
- Arrollamiento con víctimas.

- Arrollamiento de obstáculos.
- Colisiones o alcances: Nivel 3 ó 4 de riesgo.
- Descarrilamientos. Nivel 3 ó 4 de riesgo.
- Incendio o explosión en el tren. Nivel 4 de riesgo.
- Evacuación.
- Transbordo.

Se han obtenido las pautas a seguir para cada una de estas incidencias de los documentos "*Procedimiento operativo de actuación en túneles singulares. Serie 102.*" (Renfe, 2007), y "*Fichas de actuación. Plan de emergencia en túneles*" (Renfe, 2007) para los agentes del tren.

La lógica del sistema se encargará de identificar las incidencias que han sido detectadas y de proponer las medidas de actuación y pautas a seguir para solventar dichas incidencias.

Estas identificaciones se realizan relacionando una matriz de riesgos con una matriz de riesgos con una matriz de actuaciones contenidas ambas en una base de datos realizada en Microsoft Access 2007 que será cargada al arrancar el sistema.

Esta base de datos dispondrá de un listado de incidencias, un listado de agentes y un listado de órdenes de actuación que se relacionarán como se muestra en el esquema de la Figura 3. 4: una incidencia, con un agente, con diversas órdenes de actuación jerarquizadas por un orden de prioridad.

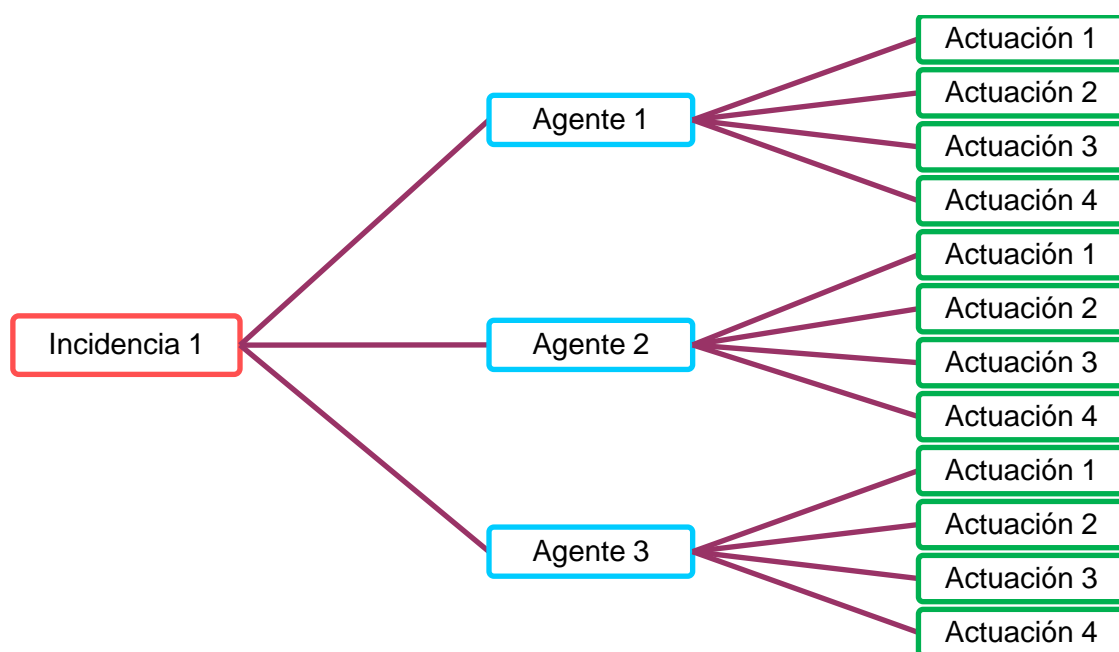


FIGURA 3. 4 RELACIONES DE LA BASE DE DATOS LÓGICA

En los apartados siguientes se muestran las pautas de actuación de la manera en que la herramienta las muestra por pantalla a cada uno de los agentes del tren.

La información que aparecería para cada uno de los agentes se separa en diferentes pantallas y se muestra con distinta fuente. Entre paréntesis aparecen anotaciones que no son mostradas por la herramienta.

3.4.1 DETENCIÓN NO PROGRAMADA DE LARGA DURACIÓN

MAQUINISTA

1. Informe al puesto de mando de: (la información necesaria no se transmitirá al puesto de mando mediante la herramienta por lo que no será necesario introducirla en la misma por parte del maquinista, pero sí puede recibir esta información del resto de la tripulación a través de ella).
 - Identificación: P.K. y datos del tren (número, composición, etc.).
 - Tipo de emergencia.
 - Daños materiales.
 - Necesidad de medios de confort, víveres, socorro o evacuación.
2. Siga las instrucciones recibidas del puesto de mando.
3. Transmita al interventor: *(esta información es necesaria para que la comunique a los viajeros durante todo el transcurso de la incidencia)*.
 - Causa de la parada.
 - Solución prevista de la incidencia.
 - Demora prevista.
 - Recordatorio de petición de calma y de tranquilidad.
4. ¿Incidencia finalizada? Comunique al supervisor y pregunte si todo el pasaje está en su puesto.
5. Reanude la marcha o inicie el proceso de evacuación.

SUPERVISOR

1. Informe al maquinista de: *(la información necesaria se podrá transmitir al maquinista a través de la herramienta).*

- Daños materiales.
- Necesidad de medios de confort, víveres, socorro o evacuación.

(También se transmitirá información sobre el tipo de emergencia y la identificación del tren si es requerida).

2. Siga las instrucciones recibidas por el maquinista.

3. Informe al resto de la tripulación. *(La información necesaria se podrá transmitir a través de la herramienta).*

4. Informe al pasaje.

- Causa de la parada.
- Solución prevista de la incidencia.
- Demora prevista.
- Recordatorio de petición de calma y de tranquilidad.
- Avise de los riesgos de abandonar el tren en plena vía.

5. ¿Incidencia finalizada? Informe a pasaje y tripulación.

6. Compruebe e informe sobre el estado del tren y el pasaje valorando la continuidad de la marcha.

7. Informe al maquinista para que continúe la marcha o de la necesidad de evacuación.

TRIPULACIÓN

1. Informe al supervisor de: *(la información necesaria se podrá transmitir al maquinista a través de la herramienta).*

- Daños materiales.
- Necesidad de medios de confort, víveres, socorro o evacuación.

(También se transmitirá información sobre el tipo de emergencia si es requerida).

2. Siga las instrucciones recibidas por el supervisor.

3. Informe al resto de la tripulación.
4. Informe al pasaje.
 - Causa de la parada.
 - Solución prevista de la incidencia.
 - Demora prevista.
 - Recordatorio de petición de calma y de tranquilidad.
 - Avise de los riesgos de abandonar el tren en plena vía.
5. En intervalos de 15 o 20 minutos trasládese por el tren atendiendo a los viajeros.

3.4.2 ARROLLAMIENTOS

MAQUINISTA

1. Informe al puesto de mando de: *(la información necesaria no se transmitirá al puesto de mando mediante la herramienta por lo que no será necesario introducirla en la misma por parte del maquinista, pero si puede recibir esta información del resto de la tripulación a través de ella).*
 - Identificación: P.K. y datos del tren (número, composición, etc.).
 - Tipo de emergencia.
 - Víctimas y daños materiales.
 - Accesibilidad de medios de socorro.
2. Siga las instrucciones recibidas del puesto de mando.
3. Informe al supervisor.
4. ¿Existen personas heridas o víctimas mortales?
 - a. HERIDAS:
 - i. Preste primeros auxilios.

- ii. Si lo considera necesario localice personal sanitario en el pasaje o pida colaboración para trasladar a los heridos a un lugar donde puedan ser atendidos.
- iii. Informe al puesto de mando:
 - Número de heridos y síntomas que presentan.
 - Ayuda externa necesaria.
- iv. Actúe de acuerdo con las instrucciones recibidas.
- v. ¿Tiene comunicación con el exterior?, traslade a los heridos al interior del tren y continúe la marcha hasta la estación que considere más adecuada para solicitar primeros auxilios.

b. VÍCTIMAS MORTALES

- i. ¿El o los cadáveres no interceptan la vía? NO, déjelo custodiado, tapado e informe al puesto de mando.
- ii. ¿El o los cadáveres no interceptan la vía? SÍ, ¿hay presente una autoridad judicial? SÍ, Indíquelo que se encargue de la retirada de los cadáveres.
- iii. ¿El o los cadáveres no interceptan la vía? SÍ, ¿hay presente una autoridad judicial? NO,
 - 1. Formalice el acta de retirada de los cadáveres.
 - 2. Retire los cadáveres sobre el mismo lugar y en la posición más parecida a la que tenían.
 - 3. Indique a un agente que custodie los cadáveres hasta la llegada de la Autoridad Judicial.
 - 4. Solicite al puesto de mando la orden de reanudación de marcha.
- 5. ¿Se ha arrollado un vehículo?, ¿contiene sustancias peligrosas? SÍ, informe al puesto de mando sobre la naturaleza de las mismas.
 - Necesidad de cortar la tensión de catenaria.
 - Recipiente de mercancía y estado del mismo.
 - Situación climatológica.
 - Morfología del terreno.
 - Proximidad a lugares habitados.

6. ¿Se ha arrollado un vehículo?, ¿contiene sustancias peligrosas? NO, ¿intercepta la vía? Proceda a la liberación del gálibo. Pida tren taller si es necesario.
7. ¿Es necesaria evacuación?

SUPERVISOR

1. Solicite información al maquinista.
2. Informe al resto de la tripulación.
3. Informe al pasaje.
 - Causa de la parada.
 - Solución prevista de la incidencia.
 - Demora prevista.
 - Recordatorio de petición de calma y de tranquilidad.
 - Avise de los riesgos de abandonar el tren en plena vía.
4. ¿Hay heridos?
 - a. Preste primeros auxilios.
 - b. Si lo considera necesario localice personal sanitario en el tren.
5. ¿Fallecidos? Colabore con el maquinista, siga sus instrucciones.
6. ¿Se ha arrollado un vehículo? ¿Contiene sustancias peligrosas? SÍ, informe al maquinista sobre la naturaleza de las mismas.
 - Necesidad de cortar la tensión de catenaria.
 - Recipiente de mercancía y estado del mismo.
 - Situación climatológica.
 - Morfología del terreno.
 - Proximidad a lugares habitados.
7. Informe de la situación al maquinista y siga sus instrucciones.

TRIPULACIÓN

1. Solicite información al supervisor.
2. Informe al resto de la tripulación.
3. Informe al pasaje.
 - Causa de la parada.
 - Solución prevista de la incidencia.
 - Demora prevista.
 - Recordatorio de petición de calma y de tranquilidad.
 - Avise de los riesgos de abandonar el tren en plena vía.
4. ¿Hay heridos?
 - c. Preste primeros auxilios.
 - d. Si lo considera necesario localice personal sanitario en el tren.
5. ¿Fallecidos? Colabore con el maquinista y el supervisor, siga sus instrucciones.
6. ¿Se ha arrollado un vehículo?, ¿contiene sustancias peligrosas? Sí, informe al supervisor sobre la naturaleza de las mismas.
 - Necesidad de cortar la tensión de catenaria.
 - Recipiente de mercancía y estado del mismo.
 - Situación climatológica.
 - Morfología del terreno.
 - Proximidad a lugares habitados.
7. Informe de la situación al supervisor y siga sus instrucciones.

MAQUINISTA

1. Informe al puesto de mando de: *(la información necesaria no se transmitirá al puesto de mando mediante la herramienta por lo que no será necesario introducirla en la misma por parte del maquinista, pero si puede recibir esta información del resto de la tripulación a través de ella).*
 - Identificación: (P.K. y datos del tren (número, composición, etc.)).
 - Tipo de emergencia.
 - Daños materiales.
 - Accesibilidad de medios de socorro.
2. Siga las instrucciones que indique el puesto de mando.
3. Transmita al interventor: (información necesaria para que la comunique a los viajeros durante todo el transcurso de la incidencia).
 - Causa de la parada.
 - Solución prevista de la incidencia.
 - Demora prevista.
 - Recordatorio de petición de calma y de tranquilidad.
4. Inmovilice el tren y proteja la vía según lo dispuesto en las normas reglamentarias.
5. Active el plan de evacuación.

SUPERVISOR

1. Informe al maquinista de: *(la información necesaria se podrá transmitir al maquinista a través de la herramienta).*
 - Víctimas y daños materiales.
 - Necesidad de evacuación o trasbordo.

(También se transmitirá información sobre el tipo de emergencia y la identificación del tren si es requerida).

2. Siga las instrucciones recibidas por el maquinista.
3. Informe al resto de la tripulación *(la información necesaria se podrá transmitir a través de la herramienta)*.
4. Informe al pasaje.
 - Causa de la parada.
 - Solución prevista de la incidencia.
 - Demora prevista.
 - Recordatorio de petición de calma y de tranquilidad.
 - Avise de los riesgos de abandonar el tren en plena vía.
5. ¿Incidencia finalizada? Informe a pasaje y tripulación.
6. Compruebe e informe sobre el estado del tren y el pasaje valorando la continuidad de la marcha.
7. Informe al maquinista para que continúe la marcha o de la necesidad de evacuación.

TRIPULACIÓN

1. Informe al supervisor de: *(la información necesaria se podrá transmitir al maquinista a través de la herramienta)*.
 - Víctimas y daños materiales.
 - Necesidad de evacuación o trasbordo.

(También se transmitirá información sobre el tipo de emergencia si es requerida).

2. Siga las instrucciones recibidas por el supervisor.
3. Informe al resto de la tripulación.
4. Informe al pasaje.
 - Causa de la parada.
 - Solución prevista de la incidencia.
 - Demora prevista.

- Recordatorio de petición de calma y de tranquilidad.
- Avise de los riesgos de abandonar el tren en plena vía.

3.4.4 INCENDIO O EXPLOSIÓN

MAQUINISTA

1. Compruebe si el lugar de parada no ofrece peligro ni para el tren ni para los viajeros.
2. Mantenga la calma.
3. Desconecte la climatización del tren.
4. Desbloquee las puertas del lado contrario a la vía contigua.
5. Informe al puesto de mando de: *(la información necesaria no se transmitirá al puesto de mando mediante la herramienta por lo que no será necesario introducirla en la misma por parte del maquinista, pero si puede recibir esta información del resto de la tripulación a través de ella).*
 - Identificación: P.K. y datos del tren (número, composición, etc.).
 - Tipo de emergencia.
 - Víctimas y daños materiales.
 - Accesibilidad de socorro.
 - Necesidad de evacuación.
6. Informe al supervisor o al tripulante más cercano que se traslade al foco del incendio y valore si existe y puede extinguirlo.
7. ¿Se ha extinguido el incendio? NO:
 - a. Indique el traslado de los viajeros a otros coches.
 - b. Indique la sectorización de los coches afectados (cierre de las puertas de comunicación), siempre que el coche esté completamente vacío.

- c. Desconecte la apertura eléctrica de puertas.
- d. Indique el cierre de las trampillas de entrada de aire desde el exterior.
- e. Active el plan de evacuación.

SUPERVISOR

1. Informe al maquinista de: *(la información necesaria se podrá transmitir al maquinista a través de la herramienta).*

- Víctimas y daños materiales.
- Necesidad de evacuación o trasbordo.

(También se transmitirá información sobre el tipo de emergencia y la identificación del tren si es requerida).

2. Informe al resto de la tripulación.
3. ¿Se puede comunicar con el maquinista? SÍ, siga sus instrucciones.
4. ¿Se puede comunicar con el maquinista? NO,
 - a. Detenga el tren en un lugar que no ofrezca peligro para el tren ni para los viajeros.
 - b. Desconecte la climatización del tren.
 - c. Trasládese al lugar del siniestro compruebe que hay incendio y valore si puede apagarlo.
5. ¿Se ha extinguido el incendio? NO:
 - a. Traslade de los viajeros a otros coches.
 - b. Sectorice los coches afectados *(cierre de las puertas de comunicación)*, siempre que el coche esté completamente vacío.
 - c. Cierre las trampillas de entrada de aire desde el exterior.
6. Informe al maquinista y siga sus instrucciones.

TRIPULACIÓN

1. Informe al supervisor de: *(la información necesaria se podrá transmitir al maquinista a través de la herramienta).*
 - Víctimas y daños materiales.
 - Necesidad de evacuación o trasbordo.

(También se transmitirá información sobre el tipo de emergencia si es requerida).

2. Siga las instrucciones recibidas por el supervisor.
3. Informe al resto de la tripulación.
4. Trasládese al lugar del siniestro compruebe que hay incendio y valore si puede apagarlo.
5. ¿Se ha extinguido el incendio? NO:
 - a. Traslade de los viajeros a otros coches.
 - b. Sectorice los coches afectados (cierre de las puertas de comunicación), siempre que el coche esté completamente vacío.
 - c. Cierre las trampillas de entrada de aire desde el exterior.
6. Informe al supervisor y siga sus instrucciones.

3.4.5 EVACUACIÓN

MAQUINISTA

1. Indique al supervisor las acciones a realizar y la información a transmitir a los viajeros.
2. ¿Se encuentra en vía única? SÍ, desbloquee las puertas de ambos lados.
3. ¿Se encuentra en vía única? NO, desbloquee las puertas del lado opuesto a la vía contigua.
4. Informe a los viajeros.
 - Incidencia producida y necesidad de evacuación.
 - Peligro de ser arrollados en vía contigua.

- ¿Hay humo? SÍ, indicar el caminar agachados y respirar a través de un pañuelo.
 - ¿El tren se encuentra en el interior de un túnel? SÍ, Indicar la dirección de evacuación, indicarla iluminando con el foco de la locomotora o con una linterna de mano. Tener en cuenta la distancia a las salidas y la dirección del humo.
5. Inmovilice el tren y proteja la vía.
 6. Ayude a las P.M.R. en la evacuación.
 7. ¿Evacuación terminada? SÍ, compruebe que el tren está totalmente desalojado.
 8. ¿Evacuación por incendio? Si es posible aíse el vehículo incendiado del resto del tren.

SUPERVISOR

1. Indique al resto de la tripulación las acciones a realizar y la información a transmitir a los viajeros.
2. Informe a los viajeros.
 - Incidencia producida y necesidad de evacuación.
 - Peligro de ser arrollados en vía contigua.
 - ¿Hay humo? SÍ, indicar el caminar agachados y respirar a través de un pañuelo.
 - ¿El tren se encuentra en el interior de un túnel? SÍ, Indicar la dirección de evacuación alumbrando con una linterna de mano. Tener en cuenta la distancia a las salidas y la dirección del humo.
3. Ayude a las P.M.R. en la evacuación.
4. ¿Evacuación terminada? SÍ, compruebe que el tren está totalmente desalojado.
5. ¿Evacuación por incendio? Colabore con el maquinista para aislar el vehículo incendiado del resto del tren.

TRIPULACIÓN

1. Informe al resto de la tripulación.
2. Informe a los viajeros.
 - Incidencia producida y necesidad de evacuación.
 - Peligro de ser arrollados en vía contigua.
 - ¿Hay humo? SÍ, indicar el caminar agachados y respirar a través de un pañuelo.
 - ¿El tren se encuentra en el interior de un túnel? SÍ, Indicar la dirección de evacuación alumbrando con una linterna de mano. Tener en cuenta la distancia a las salidas y la dirección del humo.
3. Ayude a las P.M.R. en la evacuación.
4. ¿Evacuación terminada? SÍ, compruebe que el tren está totalmente desalojado.
5. ¿Evacuación por incendio? Colabore con el maquinista y supervisor para aislar el vehículo incendiado del resto del tren.

3.4.6 TRANSBORDO

MAQUINISTA

1. Solicite información al puesto de mando:
 - Medio alternativo de transporte.
 - Lugar concreto de trasbordo.
 - Momento en el que se puede comenzar con el trasbordo.
 - Ayuda externa que se recibirá.
2. Indique al supervisor las acciones a realizar y la información a transmitir a los viajeros.
3. Indicar el montaje de la pasarela o escalera de trasbordo.
4. Informe a los viajeros:

- Necesidad de trasbordo.
 - Forma, lugar y momento de trasbordo.
 - Recordar la precaución necesaria.
5. Abra las puertas del tren necesarias para el trasbordo.
 6. Ayude a las P.M.R. en la evacuación.
 7. Ilumine la dirección a tomar por los pasajeros con el foco de la locomotora.
 8. ¿Trasbordo terminada? SÍ, compruebe que el tren está totalmente desalojado.

SUPERVISOR

1. Solicite información al maquinista:
 - Medio alternativo de transporte.
 - Lugar concreto de trasbordo.
 - Momento en el que se puede comenzar con el trasbordo.
 - Ayuda externa que se recibirá.
 - Medios a emplear, pasarela, escalera, etc.
2. Indique al resto de la tripulación las acciones a realizar y la información a transmitir a los viajeros.
3. Indicar el montaje de la pasarela o escalera de trasbordo.
4. Informe a los viajeros:
 - Necesidad de trasbordo.
 - Forma, lugar y momento de trasbordo.
 - Recordar la precaución necesaria.
5. Abra las puertas del tren necesarias para el trasbordo.
6. Ayude a las P.M.R. en la evacuación.
7. Indique la dirección a tomar por los viajeros si es necesario con una linterna de mano.

8. ¿Evacuación terminada? SÍ, compruebe que el tren está totalmente desalojado. Informe al maquinista.

TRIPULACIÓN

1. Solicite información al supervisor:
 - Medio alternativo de transporte.
 - Lugar concreto de trasbordo.
 - Momento en el que se puede comenzar con el trasbordo.
 - Ayuda externa que se recibirá.
 - Medios a emplear, pasarela, escalera, etc.
2. Indique al resto de la tripulación las acciones a realizar y la información a transmitir a los viajeros.
3. Indicar o realizar el montaje de la pasarela o escalera de trasbordo.
4. Informe a los viajeros:
 - Necesidad de trasbordo.
 - Forma, lugar y momento de trasbordo.
 - Recordar la precaución necesaria.
5. Abra las puertas del tren necesarias para el trasbordo.
6. Ayude a las P.M.R. en la evacuación.
7. Indique la dirección a tomar por los viajeros si es necesario con una linterna de mano.
8. ¿Evacuación terminada? SÍ, compruebe que el tren está totalmente desalojado. Informe al supervisor.

3.5 PROTOCOLIZACIÓN DE LAS ACCIONES A REALIZAR

Todas las incidencias y actuaciones descritas en los apartados anteriores se encuentran en la base de datos lógica del tren, que se encargará de relacionarlas.

Cada uno de los avisos mostrados por el sistema requerirá de la confirmación por parte de alguno o todos los usuarios del mismo, avanzándose así a la siguiente actuación.

El sistema permite agilizar en parte las comunicaciones en situaciones de emergencia entre la tripulación del tren y, por lo tanto, minimizar el tiempo de respuesta a la hora de realizar las tareas necesarias para solucionar dichas emergencias. Esto es necesario de cara al buen funcionamiento del sistema en tiempo real.

Las actuaciones descritas en estos apartados pueden ser simplificadas, modificadas o ampliadas según se requiera. Teniendo en cuenta la naturaleza de demostrador de la herramienta, se buscará una menor complejidad de implementación para este primer acercamiento y la flexibilidad de cara a futuras ampliaciones a otras situaciones de emergencia y niveles de riesgo, sin perder la generalidad de los casos.

4. DESARROLLO DEL SISTEMA MEDIANTE UNA APLICACIÓN SOFTWARE

4.1 ENTORNO DE PROGRAMACIÓN

Para el desarrollo del sistema de ayuda a la decisión en situaciones de emergencia en trenes a nivel de software, se ha elegido un entorno de programación que permitiera tener una interfaz gráfica amigable e intuitiva con los agentes del tren, puesto que estos serán personas sin formación informática específica.

La aplicación se ha programado con una arquitectura de software cuyo planteamiento de origen es el de crear un programa simple que sirva de demostrador. Por este motivo se ha planteado el mismo en base a ventanas anidadas, correspondientes a los agentes del tren, dentro de una ventana principal, de modo que la comunicación entre ventanas se hace a partir de variables y métodos públicos. Esta arquitectura no sería válida si se quisiese implementar el programa en diferentes ordenadores, pero sí es válida para el cometido planteado anteriormente y sirve perfectamente como punto de partida de cara a futuros desarrollos.

En un principio se pensó en el desarrollo utilizando la herramienta Matlab de Mathworks, que permite realizar formularios con una programación muy básica, pero se desechó por el gran peso que tiene el programa en el ordenador en el que se instale y la dificultad a la hora de integrar información y comunicarla entre diferentes formularios, de cara al desarrollo futuro de la aplicación para el uso en pantallas u ordenadores independientes para cada agente.

Por estas razones se decidió finalmente elegir el lenguaje de programación C#, utilizando la herramienta Microsoft Visual Studio C# 2008 Express.

Microsoft Visual C# 2008 (Microsoft, 2008) es un lenguaje de programación diseñado para crear una amplia gama de aplicaciones que se ejecutan en .NET Framework. C# es simple, eficaz, con seguridad de tipos y orientado a objetos. Con sus diversas innovaciones, C# permite desarrollar aplicaciones rápidamente y mantiene la expresividad y elegancia de los lenguajes de tipo C.

Se ha utilizado Visual Studio ya que admite Visual C# con un editor de código completo, plantillas de proyecto, diseñadores, asistentes para código, un depurador eficaz y fácil de usar, además de otras herramientas. La biblioteca de clases .NET Framework ofrece acceso a una amplia gama de servicios de sistema operativo y a otras clases útiles y adecuadamente diseñadas que aceleran el ciclo de desarrollo de manera significativa.

La gran ventaja de este lenguaje de programación es la posibilidad de compilar un archivo ejecutable que, junto con las librerías, imágenes y demás recursos de la aplicación, permita su instalación en cualquier ordenador con sistema operativo Windows, sin la necesidad de ningún paquete instalador adicional y con un peso bastante bajo.

4.2 CONSIDERACIONES GENERALES

La aplicación se ha desarrollado en torno a los diferentes formularios o ventanas que constituyen la interfaz gráfica entre la lógica interna del sistema de ayuda a la decisión en situaciones de emergencia (SATD) y los agentes del tren.

El programa principal está dividido en cinco formularios o ventanas:

- Ventana global del programa, como formulario padre.
- Ventanas de interfaz con los agentes del tren, como formularios hijos (en principio son tres, maquinista, interventor y tripulación).
- Ventana maestra o ventana principal del programa, como formulario hijo.

Tanto las ventanas de interfaz con los agentes del tren como la ventana maestra se encuentran anidadas dentro de la ventana global, de modo que sea posible la ejecución del programa en una sola pantalla.

La comunicación entre las diferentes ventanas se realiza a partir de variables y métodos públicos. Algunos de los métodos definidos en cada uno de los formularios se podrían haber definido como clases independientes y comunes a todos, pero se creyó conveniente hacer un código simple, entendible y que fuera rápido de variar y de construir, de cara a los futuros desarrollos y ampliaciones del sistema. Esto da lugar a algunas repeticiones de código similar en los diferentes formularios.

La información de los procedimientos de actuación en caso de incidencias y situaciones de emergencia está tomada de forma literal de los protocolos y fichas de actuación de Renfe (Renfe, 2007), y se almacena ordenada por identificadores en una base de datos como archivo de Microsoft Access (*Protocolos_SATD.accdb*).

La información del trazado se ha obtenido de las bases de datos de CITEF-UPM. Actualmente la aplicación incluye unos trayectos cortos a modo de ejemplo, que contienen datos ficticios del trazado correspondientes a todo tipo de elementos en la vía, así como de aceleración y limitaciones de velocidad.

Toda esta información sobre cada trayecto está recogida en ficheros individuales de Microsoft Excel incluidos en una subcarpeta del programa denominada *\Trayectos*. Así, es posible ampliar la gama de trayectos de la aplicación añadiendo más ficheros de datos a dicha subcarpeta.

Ya que por ahora se da el caso de que no tener acceso a la velocidad real del tren en circulación en la versión de demostrador, CITEF dispone de las herramientas necesarias para realizar cálculos dinámicos que permiten obtener velocidades reales de circulación. Para ello se precisa conocer los datos del

trayecto a implementar (trazado, curvatura, pendientes, limitaciones de velocidad, etc.) y los de las composiciones que van a circular por la línea, y se obtienen unas curvas de velocidad aproximadas para poder ejecutar el programa.

4.3 GENERACIÓN DE LAS VENTANAS O FORMULARIOS

Como ya se ha comentado en los apartados anteriores, el programa se basa en la generación de diferentes formularios anidados dentro de una ventana principal o formulario padre, que se define como la clase *Form1*.

4.3.1 VENTANA PRINCIPAL - FORMULARIO PADRE

Este formulario o *form* sirve como base a la comunicación entre las diferentes ventanas de interfaz con el usuario y también con la base de datos que recoge los protocolos de actuación frente a las incidencias.

El formulario está visualmente vacío, pero lleva asociadas una serie de tareas que se ejecutan dentro del él:

- Se definen cuatro ventanas o formularios hijos como sigue:
 - *Form2* - hijo 1: ventana del maquinista.
 - *Form3* - hijo 2: ventana del supervisor.
 - *Form4* - hijo 3: ventana de la tripulación.
 - *Form5* - hijo 4: ventana maestra.
- Se definen variables y clases generales para todos los formularios hijos, de modo que este formulario sirva como baúl de clases y métodos comunes a todas las ventanas.
 - Se genera un *log* con todos los eventos del programa y se define las acciones principales que configuran el mismo.
 - Se establece la base de datos del protocolo de emergencias (en base a la tabla de Microsoft Access que contiene clasificados las actuaciones para cada incidencia y operador).
 - Se definen el tamaño y posición de los formularios hijos y de la ventana principal. El tamaño está optimizado actualmente para que la ventana padre ocupe toda la pantalla y las cuatro ventanas hijo un cuadrante cada una de iguales dimensiones. Todo ello para una resolución de pantalla de 1280 por 1024 píxeles.

- Se definen las acciones a ejecutar al cerrar el programa principal.
- Se genera la tabla de incidencias.
- Se define el método para el parpadeo de botones.

4.3.2 VENTANAS DE INTERFAZ CON EL USUARIO

Las ventanas de interfaz con el usuario corresponden a los formularios *Form2*, *Form3* y *Form4*, que constituyen las ventanas del maquinista, supervisor y tripulación, por este orden. Su funcionamiento en cuanto a programación es análogo en las tres.

Las herramientas gráficas de las ventanas (botones, listas, cuadros de texto, etc.) se han agrupado mediante elementos de tipo *Groupbox*, de forma que lo que se hace es ocultar o mostrar los diferentes *groupbox* en función del estado y de los eventos del sistema.

Jugando con las ocultaciones de los botones, y de los *groupbox* se van cambiando los estados del programa, en función de los eventos que se van sucediendo.

Los eventos están generados por actuaciones en el propio formulario (p.e. pulsación de botones activos), o en cualquiera de los otros formularios hijos del *Form1*. Para permitir esta comunicación entre ventanas, partiendo de que todas están contenidas dentro del *Form1*, lo que se hace es definir las variables, botones, y métodos que pueden ser usados por otras ventanas como públicos (*public* en vez de *private*).

Los estados principales por los que pasa el programa son:

- Pantalla de bienvenida.
- Estado de reposo.
- Estado de alarma.

En cada uno de los estados del programa, los diferentes *groupbox* realizan una serie de tareas principales.

- Pantalla de bienvenida:
 - Introducir de datos de usuario y contraseña. Contiene dos campos de texto y un botón “Aceptar” en los que el agente debe rellenar el nombre de usuario, asignado por defecto para el demostrador (no se

distingue entre mayúsculas y minúsculas y la contraseña, asignada también por defecto). En este caso la contraseña está oculta y se muestran sólo asteriscos o puntos (según la versión). El programa avisa si el usuario tiene activado el Bloque Mayúscula del teclado con un globo, y muestra una ventana de aviso en el caso de que se introduzcan mal alguno de los campos, lanzando un diálogo con un *Form6*.

- Introducir de datos correspondientes al tren (maquinista), al trayecto y a la ocupación (supervisor). Esta información se introduce en cuadros de texto de la clase *TextBox* y se envía del supervisor al maquinista pulsando un botón.
- Realizar las comprobaciones previas a la partida del tren. Cada una de las comprobaciones se muestra en la lista de la clase *CheckedListBox*.
- Estado de reposo:
 - Detectar una incidencia. A la derecha aparece en un primer lugar un *groupbox* con un botón con el texto “INCIDENCIA” que al pulsar crea un nuevo objeto de la clase *Incidencia.cs*.
 - Definir el tipo de incidencia. Cuando se ha pulsado el botón, éste habilita un desplegable de la clase *ComboBox* con los tipos de incidencia previstos que implican la evacuación del tren.
 - Enviar la incidencia al registro de incidencias y al resto de agentes. Hay dos botones, uno para “Enviar” la incidencia a la tabla y al registro, y otro para “Cancelar” en el caso de que se haya pulsado el botón de “INCIDENCIA” por error.
 - Confirmar la incidencia. Al enviar la incidencia aparecerá una ventana de confirmación de la clase *Form6*.
 - Comunicarse con el resto de formularios hijos para que reconozcan la incidencia, de modo que, cuando se envía la incidencia, el botón de “INCIDENCIA” de los otros dos agentes cambia a rojo parpadeante hasta que lo pulsen para poder pasar al siguiente estado, el de alarma. Es muy importante que todos los agentes del tren reconozcan la incidencia.
- Estado de alarma:
 - Mostrar las informaciones de las actuaciones que deben seguir los agentes. Esta información se obtiene de una base de datos de Access, que se lee partiendo del identificador del agente y del identificador del tipo de incidencia. Esta base de datos está almacenada dentro del disco duro, en una subcarpeta del programa llamada *\Protocolos*. Se ha

utilizado el proveedor *Microsoft.ACE.OLEDB.12.0* para la conexión *OleDb* con la base de datos.

- Mostrar por pantalla la información leída de la base de datos con las instrucciones del “Protocolo de actuación” de Renfe (Renfe, 2007).
- Comunicarse con la ventana maestra, es decir, el *Form5*, y enviar la información sobre los pasos que ha seguido cada agente, de modo que se vayan actualizando las barras de progreso de cada uno de ellos y quede constancia en el log del programa de cuándo han pulsado los botones de “Siguiente” o “Anterior”, para comprobar que se han leído correctamente las instrucciones.
- Guardar comentarios en el log, mediante un cuadro de texto de la clase *TextBox*.
- Recibir la información sobre si el resto de agentes han visto la incidencia mediante una etiqueta de la clase *Label*, conforme van pulsando el botón de “INCIDENCIA” en sus respectivas pantallas.
- Finalizar la incidencia una vez que se han leído todas las instrucciones, o durante la recepción de estas en el caso de que se solucione antes la incidencia. Se muestra una ventana de diálogo de la clase *Form6* para confirmar que se quiere efectivamente finalizar la incidencia.

Durante el funcionamiento normal del programa durante el recorrido, cuando aparece un túnel en el trayecto se pasa a un estado de prealarma, que muestra un *groupbox* a la derecha, bajo los botones de “Enviar” y “Cancelar” incidencia. Este *groupbox* se lanza desde el *Form5*, por lo que se explicará más adelante.

4.3.3 VENTANA MAESTRA

La ventana maestra está definida como una clase de formulario *Form5*. Al igual que los *Form2*, *Form3* y *Form4*, es un hijo del *Form1*. Su arquitectura es diferente, ya que es independiente de los otros, aunque toma información de los mismos.

Estas son las tareas principales que se ejecutan dentro de este formulario:

- Definir el tren. Con el tren seleccionado en el *Form2*, se llama a la clase *Tren.cs* (se definirá más adelante) y este formulario la llama a su vez para definir la imagen a mostrar en función del tren seleccionado por el maquinista. En futuros desarrollos se prevé que también cargue datos relativos a la dinámica del tren o a sus prestaciones, así como planos o esquemas del mismo que pudieran usarse de cara a la evacuación.

- Definir el trayecto. Se realiza el mismo procedimiento anterior pero con la vía. Ésta se genera en la clase *Vía* a partir de la elección hecha por el supervisor (*Form3*). Lo que se realiza en este formulario es llamar a la misma para dibujar los primeros 10 km en tramos de 100 metros.
- Gestionar el “movimiento del tren”. Lo que se hace es dibujar la vía cada cierto tiempo, y este tiempo se calcula a partir de la velocidad que debería llevar el tren en cada momento. Para ello se establece un *timer* cuyo periodo se obtiene a partir de la velocidad media en esos 100 m. Todo el código que gestiona la marcha, el paro, y el reanudar la marcha del tren se encuentra en este formulario. Todo ello se hace jugando con el periodo del citado *timer*. Los eventos a los que llama son dibujar la vía con las condiciones que lee de la clase *Vía*. Es como si esta fuese una línea fija de 10 km y se fuera cambiando el color de los segmentos de 100 m cada cierto tiempo. Esto da la sensación de movimiento. La velocidad es estimada, y se obtiene de la clase *Vía.cs* también.
- Calcular la activación de las prealarmas propias a la entrada en túnel. Aprovechando que es en este formulario donde se realiza el seguimiento de la vía (velocidad de circulación y seguimiento del PK en el que estamos) se calcula aquí cuando se activan.
- La prealarma de proximidad a túnel se activa cuando queda 1 km para entrar en el túnel. Se prevé modificar este aspecto y que mediante la velocidad se estime cuanto tiempo queda para entrar en el túnel y de esta forma dejar esta prealarma en función del tiempo y no de la distancia. Este aspecto se ha dejado así porque en principio no se tienen datos reales de velocidad de circulación y son estimados.
- Activar la prealarma de entrada a túnel cuando el tren entra en el túnel, y desactivarla cuando sale.
- Gestionar la visibilidad de los *groupbox* de los *Form2*, *Form3* y *Form4* en función del estado de prealarma. Estas prealarmas constituyen eventos por lo que desde este *Form5* se gestiona que se oculten o se muestren.
- Gestionar la entrada como administrador. Se trata de un botón que llama a los métodos y clases necesarios para saltar los pasos previos de entrada de contraseña, verificaciones iniciales, y elecciones de trayecto y tipo de tren. Entrando como administrador se carga un trayecto y un tipo de tren definidos.

Para esta aplicación fue necesario desarrollar un tipo de ventana propio para el caso de la interacción entre el programa y el usuario mediante cuadros de diálogo o ventanas de aviso, sustituyendo a la clase *MessageBox* propia de C# y mejorando sus propiedades.

Se creó una clase nueva de formulario, el *Form6*, que contiene los elementos necesarios para interactuar con el usuario.

Estos elementos principales son:

- Texto de la ventana, que se muestra mediante una etiqueta de texto.
- Icono de la ventana, definido mediante una imagen del sistema.
- Botones de la ventana. En un principio se definen dos botones, que se mostrarán o no según el caso.

Dentro de esta nueva clase se definen los métodos y tareas principales, que son:

- Mostrar una ventana de aviso. El método utilizado devuelve el identificador del botón que se haya pulsado. Este método está sobrecargado para aceptar diferente número de parámetros, que pueden ser:
 - Formulario padre sobre el que debe aparecer la ventana. Ésta se sitúa en el centro de dicho formulario, de modo que esté centrada sobre cada una de las ventanas principales de cada agente, y es la principal ventaja frente a la clase *MessageBox* propia de C#.
 - Mensaje de texto que aparecerá en la ventana.
 - Título de la ventana.
 - Número y tipo de botones que aparecen en la ventana.
 - Icono de la ventana, a elegir entre una serie de iconos predefinidos por el sistema, o una imagen propia.
- Definir los botones de la ventana. Se obtienen los siguientes tipos de botones:
 - Un único botón centrado con el texto “Aceptar”.
 - Dos botones, uno con el texto “Sí” y el otro con el texto “No”.

- Modificar la visibilidad y la posición los elementos de la ventana. Se definen varios métodos que permiten:
 - Mostrar o esconder los botones según el caso: mostrar botón “Sí”, mostrar botón “No”, ocultar botón “No”.
 - Centrar el texto de la ventana cuando no hay icono.
 - Centrar los botones en función del tamaño de la ventana, cuando hay un botón o cuando hay dos botones.
- Producir un evento al pulsar los botones, que devuelve el identificador del botón como información al formulario padre de la ventana.
- Producir un evento cuando el usuario cierra el formulario. Se devuelve el mismo identificador que cuando se pulsa el segundo botón.

Con todas estas funcionalidades se crea un tipo de ventana agradable al usuario y que permite transmitir las informaciones pertinentes en cada caso, así como recibir una cierta información sobre las decisiones del usuario ante un evento.

4.4 GENERACIÓN DE CLASES INDEPENDIENTES

Para el caso de la definición de la vía y del tren se ha optado por usar la programación orientada a objetos, y definir ambas como sendas clases independientes. De esta forma su posterior revisión para completarlas o enriquecerlas se hace mucho más sencillo y se consigue una gestión más eficaz de la información.

Se ha trabajado igual para el caso de la definición de las incidencias, lo que permite crearlas sin problema desde cada uno de los formularios hijos.

4.4.1 CLASE VÍA

La clase *Vía.cs* carga los datos de la vía a partir de una tabla de Microsoft Excel. Se llama desde el la ventana maestra *Form5* a partir de la selección hecha en la ventana del supervisor *Form3*. Básicamente su misión es cargar las características generales de la vía, así como sus parámetros cada 100 metros a partir del fichero de Microsoft Excel correspondiente al trayecto.

Los ficheros que contienen la información están en una subcarpeta llamada *\Trayectos*, que debe estar siempre dentro de la carpeta raíz del programa.

Se ha elegido usar una clase porque de esta forma puede ser modificada en el futuro en el caso de que se amplíe la información de los trayectos con más datos reales.

4.4.2 CLASE TREN

La clase *Tren.cs* en principio es bastante simple, pero se ha realizado con la misma idea que la clase vía, para que pueda ampliarse en el futuro con mayor número de parámetros, especificaciones del tren y otros contenidos.

Actualmente lo único que hace es cargar, cuando es llamada desde la ventana maestra *Form5*, el tren de la serie elegida en la ventana del maquinista *Form2*. De momento sólo carga la foto del tren que se encuentra en una subcarpeta llamada *\Fotos_Trenes* en la carpeta raíz del programa, pero se prevé añadir información como el número de salidas, plazas del tren, etc.

En un futuro también se puede programar para que cargue otros datos relativos al tren presentados en un fichero de texto, o en un fichero de Microsoft Excel. Igualmente se puede ampliar la selección actual a más tipos de trenes sin mucha dificultad.

4.4.3 CLASE INCIDENCIA

La clase *Incidencia.cs* se trata de un objeto que contiene toda la información necesaria sobre cada incidencia detectada.

En un principio esta clase carga las propiedades de hora a la que se ha producido la incidencia, número de incidencia desde el inicio del trayecto, agente que la ha detectado y tipo de la incidencia.

En un futuro es deseable que se amplíe con más propiedades en función del tipo de incidencia, estado de la incidencia o con los comentarios correspondientes a la resolución de la incidencia.

4.5 GENERACIÓN DE LOG DE LA APLICACIÓN

Cada vez que ocurre un evento en el programa, desde que se abre, al pulsar un botón, marcar una casilla o cerrar una ventana, éste se guarda en un fichero de texto que se podrá consultar a posteriori a modo de caja negra.

El log se crea cada vez que se inicia el programa con el nombre correspondiente a la fecha y la hora, al igual que se crea el del registro de incidencias, en la forma:

AAAA_MM_DD_hh_mm_ss_log.txt

AAAA_MM_DD_hh_mm_ss_registro_incidencias.txt

Ejemplos:

2011_06_27_14_35_35_log.txt

2011_06_27_14_35_35_registro_incidencias.txt

El contenido del log se organiza por fecha, hora, objeto, descripción y agente. Un ejemplo de esto sería el siguiente:

```
10/06/2011 23:15:48 ; Apertura del programa
10/06/2011 23:16:02 ; Botón ; Usuario y Contraseña ; Maquinista
10/06/2011 23:16:05 ; Botón ; Usuario y Contraseña ; Supervisor
10/06/2011 23:16:08 ; Botón ; Usuario y Contraseña ; Tripulante
10/06/2011 23:18:26 ; Botón ; Incidencia detectada ; Maquinista
10/06/2011 23:18:26 ; Parada del tren
10/06/2011 23:18:29 ; Checklist ; Incidencia Seleccionada: ;
Maquinista
10/06/2011 23:18:31 ; Botón ; Enviar incidencia ; Maquinista
10/06/2011 23:18:33 ; Botón ; Confirmar incidencia - Sí;
Maquinista
10/06/2011 23:18:38 ; Botón ; Siguiente ; Maquinista
10/06/2011 23:18:38 ; Botón ; Siguiente ; Maquinista
10/06/2011 23:18:39 ; Botón ; Siguiente ; Maquinista
10/06/2011 23:18:42 ; Botón ; Siguiente ; Maquinista
10/06/2011 23:18:43 ; Botón ; Siguiente ; Maquinista
10/06/2011 23:18:44 ; Botón ; Siguiente ; Maquinista
10/06/2011 23:18:44 ; Botón ; Siguiente ; Maquinista
10/06/2011 23:18:44 ; Botón ; Siguiente ; Maquinista
```

10/06/2011 23:18:44 ; Botón ; Siguiente ; Maquinista
10/06/2011 23:18:48 ; Cuadro de texto ; Introducción de texto:
(Chat) ; Supervisor
10/06/2011 23:18:50 ; Botón ; Envío de chat: Comprobaciones
realizadas ; Supervisor
10/06/2011 23:20:07 ; Botón ; Siguiente ; Tripulante
10/06/2011 23:20:07 ; Botón ; Siguiente ; Tripulante
10/06/2011 23:20:08 ; Botón ; Siguiente ; Tripulante
10/06/2011 23:20:08 ; Botón ; Siguiente ; Tripulante
10/06/2011 23:20:08 ; Botón ; Siguiente ; Tripulante
10/06/2011 23:20:08 ; Botón ; Siguiente ; Tripulante
10/06/2011 23:20:08 ; Botón ; Siguiente ; Tripulante
10/06/2011 23:20:11 ; Botón ; Finalizar ; Tripulante
10/06/2011 23:20:14 ; Botón ; Finalizar ; Maquinista
10/06/2011 23:20:17 ; Botón ; Siguiente ; Supervisor
10/06/2011 23:20:17 ; Botón ; Siguiente ; Supervisor
10/06/2011 23:20:17 ; Botón ; Siguiente ; Supervisor
10/06/2011 23:20:18 ; Botón ; Siguiente ; Supervisor
10/06/2011 23:20:18 ; Botón ; Siguiente ; Supervisor
10/06/2011 23:20:18 ; Botón ; Siguiente ; Supervisor
10/06/2011 23:20:18 ; Botón ; Siguiente ; Supervisor
10/06/2011 23:20:27 ; Botón ; Finalizar ; Supervisor
10/06/2011 23:20:37 ; Evento ; Estado de Prealarma - Entrada a
túnel (Botón) ; Ventana principal
10/06/2011 23:20:48 ; Evento ; Estado de Prealarma - Túnel
(Botón) ; Ventana principal
10/06/2011 23:21:15 ; Botón ; Incidencia detectada ; Maquinista
10/06/2011 23:21:15 ; Parada del tren
10/06/2011 23:21:24 ; Checklist ; Incidencia Seleccionada: ;
Maquinista
10/06/2011 23:21:25 ; Botón ; Enviar incidencia ; Maquinista
10/06/2011 23:21:26 ; Botón ; Confirmar incidencia - Sí;
Maquinista
10/06/2011 23:21:37 ; Botón ; Siguiente ; Tripulante
10/06/2011 23:21:43 ; Botón ; Siguiente ; Tripulante
10/06/2011 23:21:48 ; Botón ; Envío de chat: ; Tripulante
10/06/2011 23:21:54 ; Cuadro de texto ; Introducción de texto:
(Chat) ; Tripulante
10/06/2011 23:21:55 ; Botón ; Envío de chat: Todo bien ;

Tripulante

10/06/2011 23:22:03 ; Botón ; Finalizar ; Tripulante

10/06/2011 23:22:21 ; Botón ; Finalizar ; Supervisor

10/06/2011 23:22:27 ; Botón ; Finalizar ; Maquinista

10/06/2011 23:22:56 ; Botón ; Incidencia detectada ; Maquinista

10/06/2011 23:22:56 ; Parada del tren

10/06/2011 23:23:03 ; Botón ; Cancelar incidencia; Maquinista

10/06/2011 23:23:04 ; Botón ; Incidencia detectada ; Tripulante

10/06/2011 23:23:37 ; Checklist ; Incidencia Seleccionada: ;
Tripulante

10/06/2011 23:23:47 ; Botón ; Enviar incidencia ; Tripulante

10/06/2011 23:23:48 ; Botón ; Confirmar incidencia - Sí;
Tripulante

10/06/2011 23:23:50 ; Parada del tren

10/06/2011 23:24:22 ; Botón ; Finalizar ; Tripulante

10/06/2011 23:24:24 ; Botón ; Finalizar ; Maquinista

10/06/2011 23:24:28 ; Botón ; Finalizar ; Supervisor

10/06/2011 23:24:51 ; Fin del programa

5. FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN

5.1 ESTADOS DEL PROGRAMA

En los siguientes apartados se describe el funcionamiento del programa SATD a nivel de usuario, de modo que a partir de éste sea posible una correcta comprensión del programa.

El programa pasa por tres estados fundamentales, en función de los eventos que se van sucediendo durante el funcionamiento. Cada uno de estos estados se corresponde con una cierta apariencia de las ventanas de interfaz con los usuarios.

Las pantallas principales del programa son tres:

- Pantalla de bienvenida
- Estado de reposo
- Estado de alarma

5.2 PANTALLA DE BIENVENIDA

En el estado inicial del programa, al arrancar el archivo ejecutable “SATD.exe” (habiéndose instalado el mismo previamente) aparecerá la siguiente pantalla:

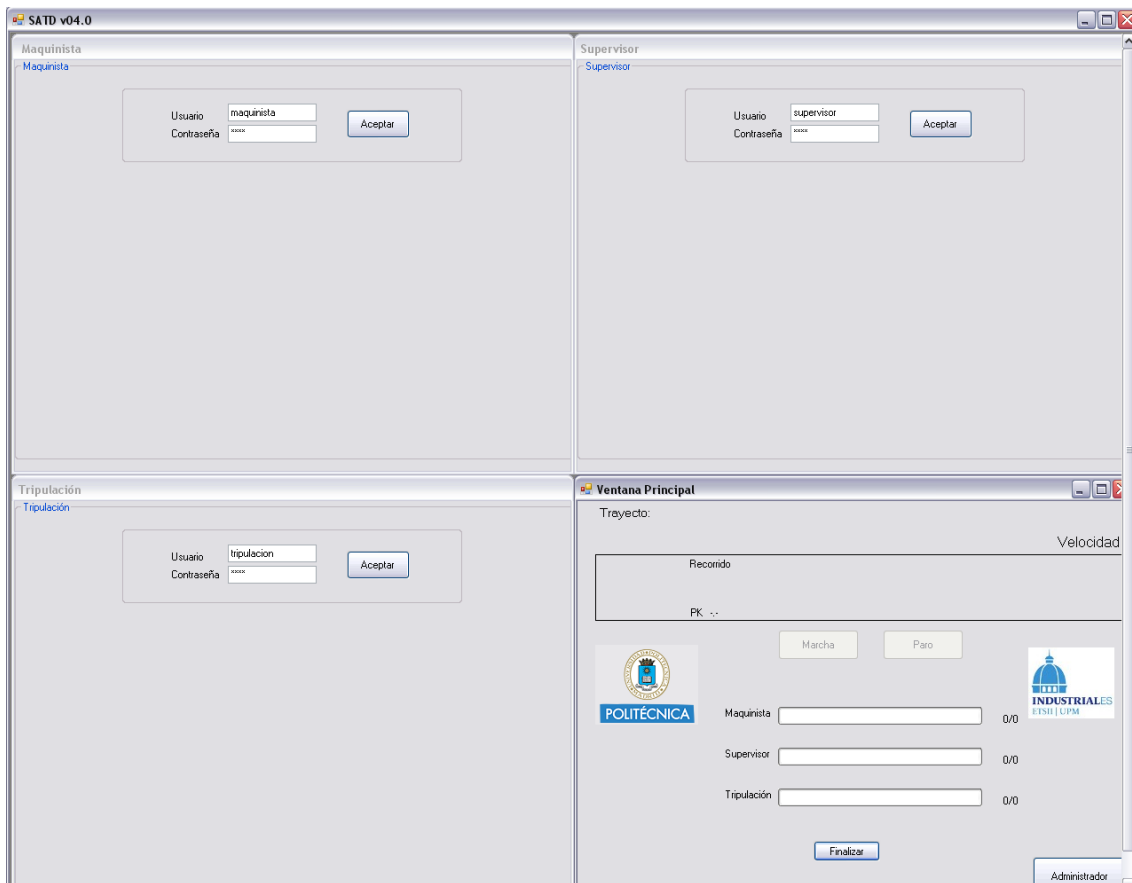


FIGURA 5. 1 PANTALLA DE BIENVENIDA

Debido a que el programa pretende servir de simulador para todas las interacciones entre usuarios, en este caso la pantalla principal está dividida en cuatro cuadrantes a modo de demostrador:

- En el primero, arriba y a la izquierda, aparece la pantalla propia del maquinista.
- En el segundo, arriba y a la derecha, aparece la pantalla propia del supervisor o interventor.
- En el tercero, abajo y a la izquierda, aparece la pantalla propia de cualquier miembro de la tripulación. A efectos prácticos se ha sacado una única pantalla para la tripulación, aunque en un caso real es posible que hiciera falta multiplicar esta pantalla para cada uno de los miembros.

- En el cuarto, abajo y a la derecha, se obtiene una visión general del estado del programa, que en un caso real correspondería con el funcionamiento interno de éste.

5.2.1 INTRODUCCIÓN DE NOMBRES DE USUARIO Y CONTRASEÑAS

Lo primero que deben hacer los tres agentes es introducir sus datos de usuario y contraseña en el sistema y pulsar el botón “Aceptar”.

FIGURA 5. 2 PANTALLA DEL MAQUINISTA – INTRODUCCIÓN DE USUARIO Y CONTRASEÑA

En un principio los nombres de usuario y contraseñas han quedado predefinidos de la forma que se muestra en la tabla, aunque son modificables por parte del programador (no así por parte del usuario):

Agente	Maquinista	Supervisor	Tripulación
Usuario	maquinista	supervisor	tripulación
Contraseña	1234	1234	1234

TABLA 5. 1 DATOS DE INICIO DE SESIÓN EN LA APLICACIÓN

Si los datos introducidos son incorrectos, al usuario le aparecerá una ventana de aviso con el error correspondiente (usuario incorrecto, contraseña incorrecta o ambos) para que corrija los datos.

Si los datos introducidos son correctos, a continuación les aparecerá una ventana de bienvenida como se aprecia en la Figura 5. 3.

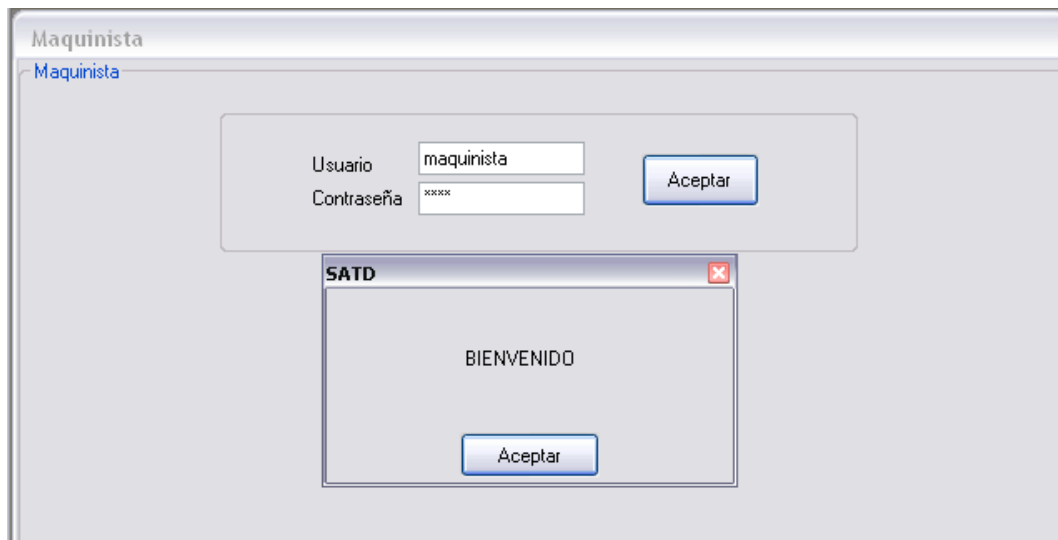


FIGURA 5. 3 PANTALLA DEL MAQUINISTA – INICIO DE SESIÓN CORRECTO

Si el usuario pulsa el botón “Aceptar” se pasará a la siguiente pantalla de introducción de datos; si se cierra, se podrán modificar los datos de usuario o mantenerse simplemente en la pantalla inicial.

5.2.2 INTRODUCCIÓN DE DATOS DE PARTIDA

En este caso, la ventana de introducción de datos al inicio del recorrido del tren sí varía entre los tres agentes.

MAQUINISTA

En primer lugar tendrá que elegir el tipo de tren en el que se viaja. Para el demostrador se han elegido los trenes de las Series 100, 102 y 103 de Renfe, como casos más representativos de trenes de Alta Velocidad.

Maquinista

Maquinista

Tipo de Tren ▼

Operaciones del tren

- ☐ Comprobar el funcionamiento correcto de las puertas del tren
- ☐ Comprobar el funcionamiento correcto de los intercomunicadores del tren, excepto los asociados a los aparatos de alarma
- ☐ Comprobar el funcionamiento correcto de la megafonía
- ☐ Comprobar el perfecto estado de los elementos de seguridad en la circulación (pantógrafos, etc.)
- ☐ Comprobar que el sistema de alarma está operativo
- ☐ Comprobar la dotación y eficacia de los extintores en la cabina de conducción

Espera a recibir información transmitida por el supervisor

Personal de abordó:	<input type="checkbox"/> Tripulación
Ocupación del tren:	<input type="checkbox"/> Pasajeros
Personas de Movilidad Reducida:	<input type="checkbox"/> PMR
Dotación y eficacia de los extintores:	<input type="checkbox"/> Correcta/Incorrecta

Finalizar

FIGURA 5. 4 PANTALLA DEL MAQUINISTA – ELECCIÓN DEL TIPO DE TREN

A continuación el Protocolo de Actuación marca una serie de comprobaciones que debe hacer cada agente antes de continuar, independientemente del trayecto que se vaya a realizar y del tren escogido. En este caso son seis comprobaciones que el maquinista debe marcar antes de poder continuar con el programa.

Éstas tienen sólo la función de que el maquinista no olvide hacer ninguna de las comprobaciones que según el Protocolo de Actuación está obligado a hacer en cada uno de los viajes.

Maquinista

Maquinista

Tipo de Tren: S102

Operaciones previas a la salida del tren

- ☒ Comprobar el funcionamiento correcto de las puertas del tren
- ☒ Comprobar el funcionamiento correcto de los intercomunicadores del tren, excepto los asociados a los aparatos de alarma
- ☒ Comprobar el funcionamiento correcto de la megafonía
- ☒ Comprobar el perfecto estado de los elementos de seguridad en la circulación (pantografos, etc.)
- ☒ Comprobar que el sistema de alarma está operativo
- ☐ Comprobar la dotación y eficacia de los extintores en la cabina de conducción

Espere a recibir información transmitida por el supervisor

Personal de abordó: Tripulación

Ocupación del tren: Pasajeros

Personas de Movilidad Reducida: PMR

Dotación y eficacia de los extintores: Correcta/Incorrecta

Finalizar

FIGURA 5. 5 PANTALLA DEL MAQUINISTA – COMPROBACIONES PREVIAS AL INICIO DE LA MARCHA

Esta fase no se puede finalizar hasta que no se reciban las informaciones por parte del supervisor o interventor. El maquinista, por tanto, deberá esperar a recibir la información del personal de a bordo, ocupación del tren, personas de movilidad reducida y dotación de los extintores, antes de poder completar este paso. Para ello el botón “Finalizar” permanece inactivo hasta el momento en el que el supervisor le transmite esta información por medio del propio programa, como se muestra más adelante.

Una vez esté activo este botón, en el caso de que se pulse sin haber rellenado todos los campos, aparecerá un mensaje de error con el correspondiente aviso como el que aparece en la Figura 5. 6.

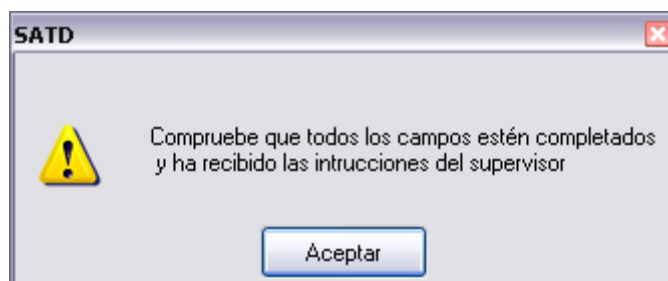
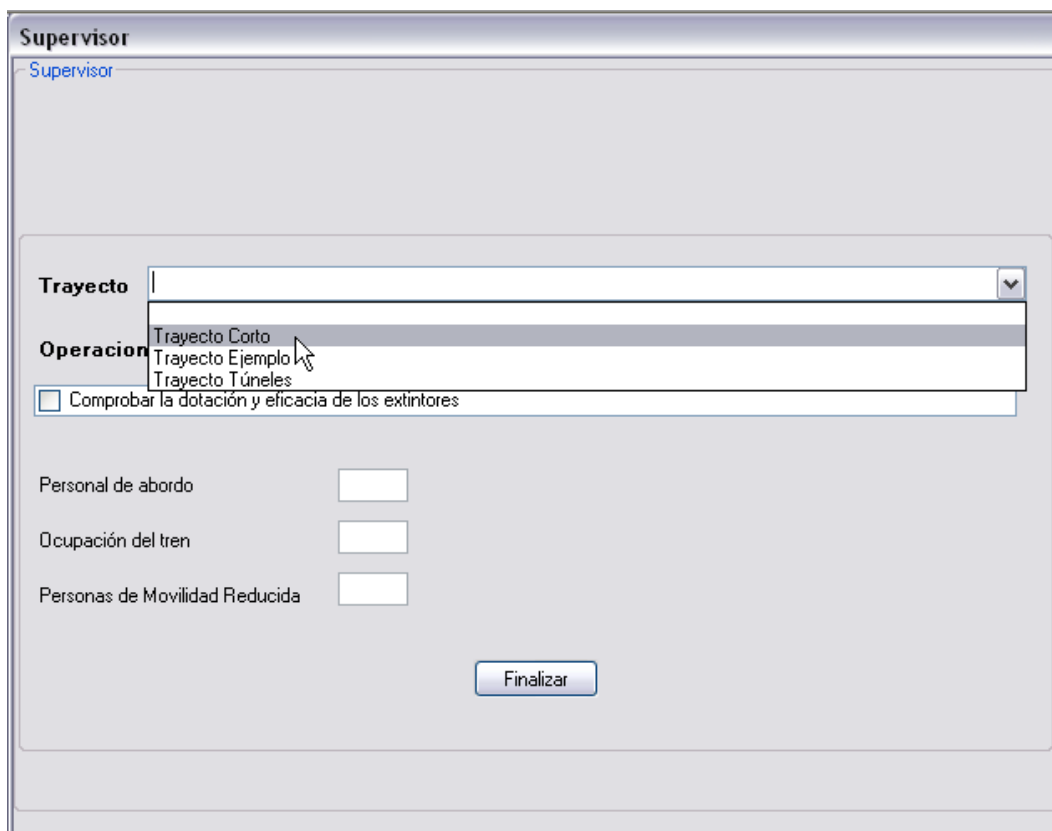


FIGURA 5. 6 MENSAJE DE ERROR AL MAQUINISTA

SUPERVISOR

En primer lugar tendrá que elegir el trayecto en el que se va a circular. Para el demostrador se han introducido tres trayectos tipo: uno corto para demostraciones rápidas, uno tipo con elementos de vía de toda clase y uno especial para un recorrido con muchos túneles.



The screenshot shows a window titled "Supervisor" with a sub-header "Supervisor". The main area contains a "Trayecto" dropdown menu with a list of options: "Trayecto Corto", "Trayecto Ejemplo", and "Trayecto Túneles". A mouse cursor is pointing at "Trayecto Ejemplo". Below the dropdown is a checkbox labeled "Comprobar la dotación y eficacia de los extintores". Further down are three input fields labeled "Personal de abordó", "Ocupación del tren", and "Personas de Movilidad Reducida". At the bottom right is a button labeled "Finalizar".

FIGURA 5. 7 PANTALLA DEL SUPERVISOR – ELECCIÓN DEL TRAYECTO

El supervisor o interventor en este caso sólo tiene una comprobación durante esta fase.

The screenshot shows a software window titled "Supervisor". Inside, there is a section for "Operaciones previas a la salida del tren". At the top, a dropdown menu labeled "Trayecto" is set to "Trayecto Corto". Below this, a list of tasks is shown, with the first item "Comprobar la dotación y eficacia de los extintores" checked. To the right of this list are three empty input fields labeled "Personal de abordó", "Ocupación del tren", and "Personas de Movilidad Reducida". A "Finalizar" button is located at the bottom right of the form area.

Operaciones previas a la salida del tren	
<input checked="" type="checkbox"/>	Comprobar la dotación y eficacia de los extintores
	Personal de abordó
	Ocupación del tren
	Personas de Movilidad Reducida

Finalizar

FIGURA 5. 8 PANTALLA DEL SUPERVISOR - COMPROBACIÓN PREVIA AL INICIO DE LA MARCHA

Una vez realizada la comprobación, debe cumplimentar los datos más relevantes del pasaje. En un principio estos serán: número de personal de abordó, ocupación del tren (número de pasajeros) y número de personas de movilidad reducida.

The screenshot shows a window titled "Supervisor" with a sub-header "Supervisor". Below this, there is a dropdown menu labeled "Trayecto" with the value "Trayecto Corto" selected. Underneath, the section "Operaciones previas a la salida del tren" contains a checked checkbox for "Comprobar la dotación y eficacia de los extintores". Below this, there are three input fields: "Personal de abordó" with the value "4", "Ocupación del tren" with the value "127", and "Personas de Movilidad Reducida" with the value "2". At the bottom center, there is a button labeled "Finalizar" with a mouse cursor hovering over it.

FIGURA 5. 9 PANTALLA DEL SUPERVISOR – FINALIZACIÓN DE LA INTRODUCCIÓN DE DATOS INICIALES DE OCUPACIÓN

Una vez rellenos estos datos, al pulsar el botón “Finalizar” esta información se envía al terminal del maquinista. En ese momento le aparece la información que necesita conocer en verde, y es entonces cuando el botón de finalizar se activa para que pueda concluir esta fase previa.

Maquinista

Maquinista

Tipo de Tren S102

Operaciones previas a la salida del tren

- ☒ Comprobar el funcionamiento correcto de las puertas del tren
- ☒ Comprobar el funcionamiento correcto de los intercomunicadores del tren, excepto los asociados a los aparatos de alarma
- ☒ Comprobar el funcionamiento correcto de la megafonía
- ☒ Comprobar el perfecto estado de los elementos de seguridad en la circulación (pantografos,etc.)
- ☒ Comprobar que el sistema de alarma está operativo
- ☒ Comprobar la dotación y eficacia de los extintores en la cabina de conducción

Información transmitida por el supervisor

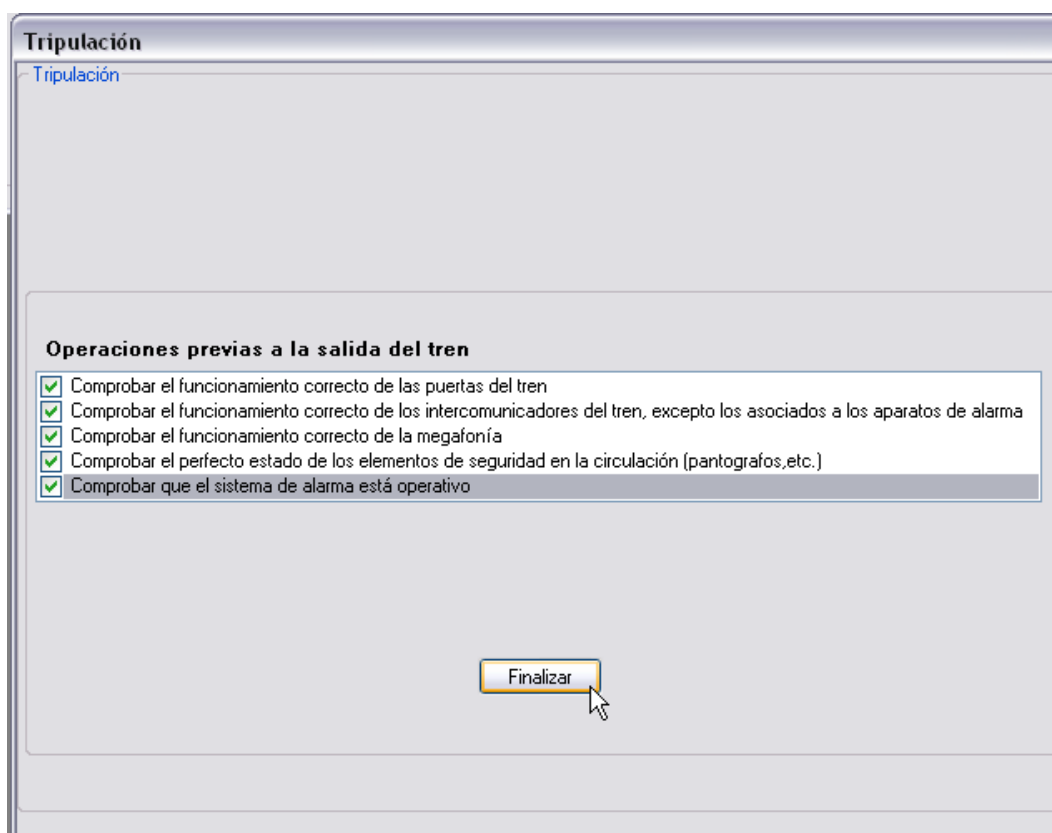
Personal de abordó:	4 Tripulación
Ocupación del tren:	127 Pasajeros
Personas de Movilidad Reducida:	2 PMR
Dotación y eficacia de los extintores:	Correcto

Finalizar

FIGURA 5. 10 PANTALLA DEL MAQUINISTA - RECEPCIÓN DE LOS DATOS ENVIADOS POR EL SUPERVISOR

TRIPULACIÓN

Los miembros de la tripulación, en base a su protocolo de actuación, sólo tienen comprobaciones durante esta fase previa.



The screenshot shows a software window titled "Tripulación". Inside, there is a section titled "Operaciones previas a la salida del tren" (Operations prior to train departure). This section contains a list of four items, each with a green checkmark in a box to its left:

- ✓ Comprobar el funcionamiento correcto de las puertas del tren
- ✓ Comprobar el funcionamiento correcto de los intercomunicadores del tren, excepto los asociados a los aparatos de alarma
- ✓ Comprobar el funcionamiento correcto de la megafonía
- ✓ Comprobar el perfecto estado de los elementos de seguridad en la circulación (pantografos,etc.)

Below this list, there is a button labeled "Finalizar" (Finish) with a mouse cursor pointing at it.

FIGURA 5. 11 PANTALLA DE LA TRIPULACIÓN – COMPROBACIONES PREVIAS AL INICIO DE LA MARCHA

Una vez realizadas las cinco comprobaciones, al pulsar el botón “Finalizar” se pasará al estado siguiente.

5.3 ESTADO DE REPOSO

Una vez cargados todos los datos y finalizada la fase anterior por parte de todos los agentes, se cargan en la ventana principal del programa el tipo de tren y el trayecto elegidos. Para que comience la marcha del tren es necesario pulsar el botón “Marcha”.

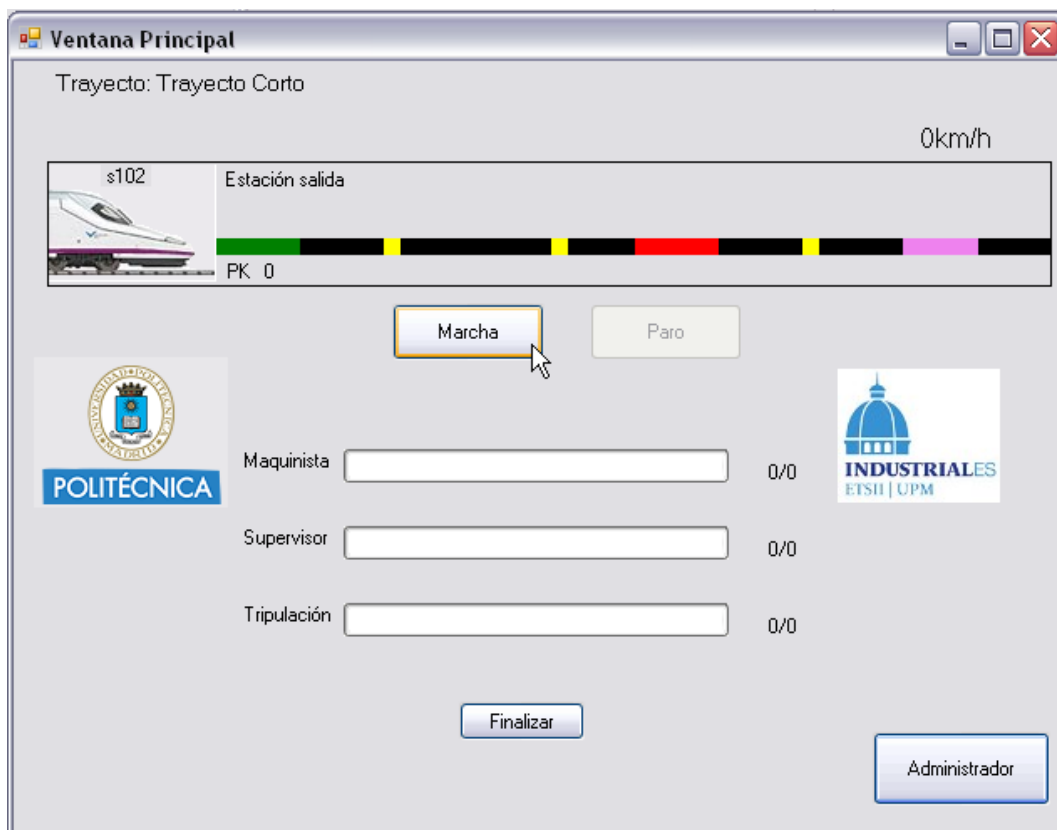


FIGURA 5. 12 VENTANA PRINCIPAL DEL PROGRAMA

En un caso real, el programa debería ir conectado al tacómetro del tren o a algún otro sistema que permitiera conocer la velocidad real en cada instante. Para el caso del demostrador que nos ocupa esta se ha estimado en base a cálculos dinámicos de velocidad en cada trayecto para cada tipo de composición. En caso de incidencia detectada por el maquinista, o cuando este la reconoce, se procede a parar el tren también en base a cálculos de frenado (En el caso del demostrador no son reales para hacer las simulaciones más dinámicas).

La ventana principal muestra el trayecto seleccionado, el tren elegido, la velocidad de circulación en cada momento (estimada según los datos de circulación calculados), el PK por el que circula la composición, el tipo de trayecto (estación, zona neutra, viaducto o túnel) y los diez kilómetros que tiene por delante en cada momento, avanzando la barra en tramos de cien metros.

Estos diez kilómetros se muestran en una barra con un código de colores que muestra el tipo de vía que corresponde a trayectos de cien metros, siguiendo el patrón de la siguiente tabla:

Color	Significado
Negro	Vía normal sobre balasto o en placa.
Verde	Vía en estación o apeadero
Amarillo	Zona neutra
Rojo	Trayecto en viaducto
Rosa	Trayecto en túneles

Asimismo, el botón “Administrador” de la Ventana Principal permite entrar directamente a una configuración por defecto de tren y trayecto, introduciendo automáticamente los nombres de usuario y las contraseñas. Esto es útil en la fase de demostrador, aunque dejaría de existir en una implementación real.

Las pantallas principales de los tres agentes en estado de reposo son idénticas:

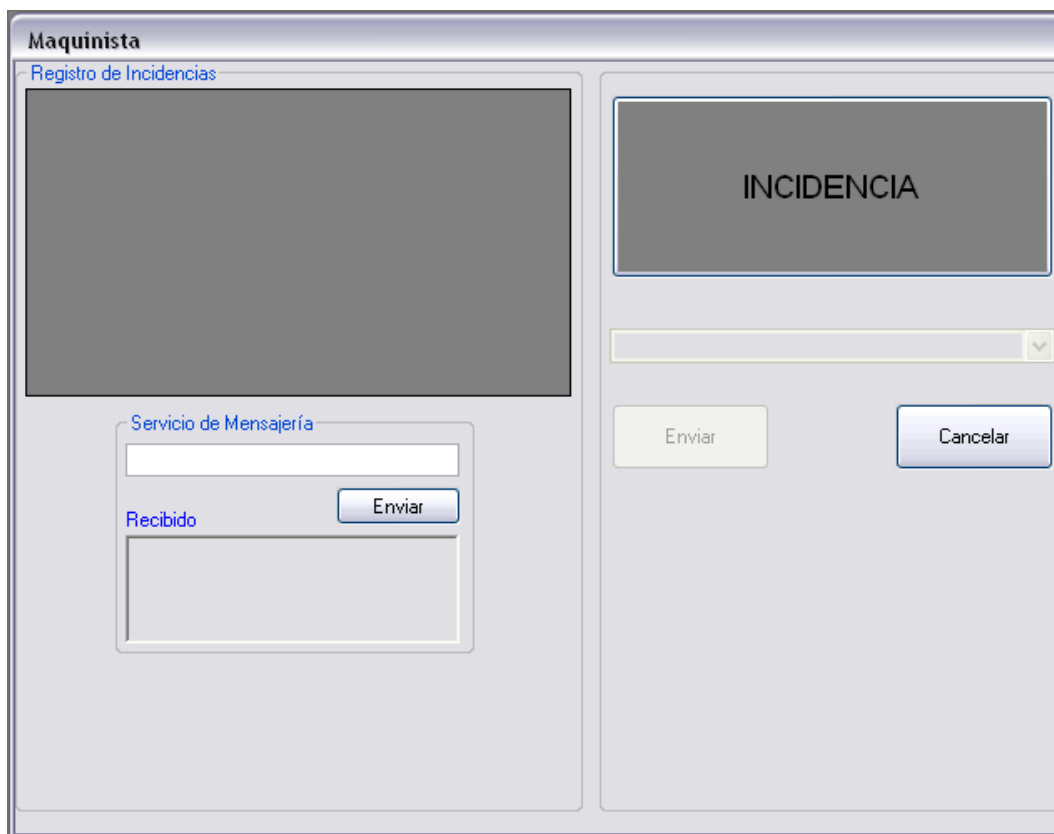


FIGURA 5. 13 PANTALLA DEL MAQUINISTA - ESTADO DE REPOSO

A la izquierda y arriba hay un hueco donde más adelante aparecerá una tabla con la lista de incidencias detectadas y sus descripciones. Debajo de este “Registro de Incidencias” aparece un “Servicio de Mensajería” que permite la comunicación entre los diferentes agentes del tren. Y a la derecha aparecen los botones necesarios para introducir una incidencia detectada en el sistema.

5.3.1 SERVICIO DE MENSAJERÍA

Cuando uno de los agentes introduce texto en recuadro blanco y pulsa el botón “Enviar”, automáticamente este texto les aparece como mensaje al resto de agentes.

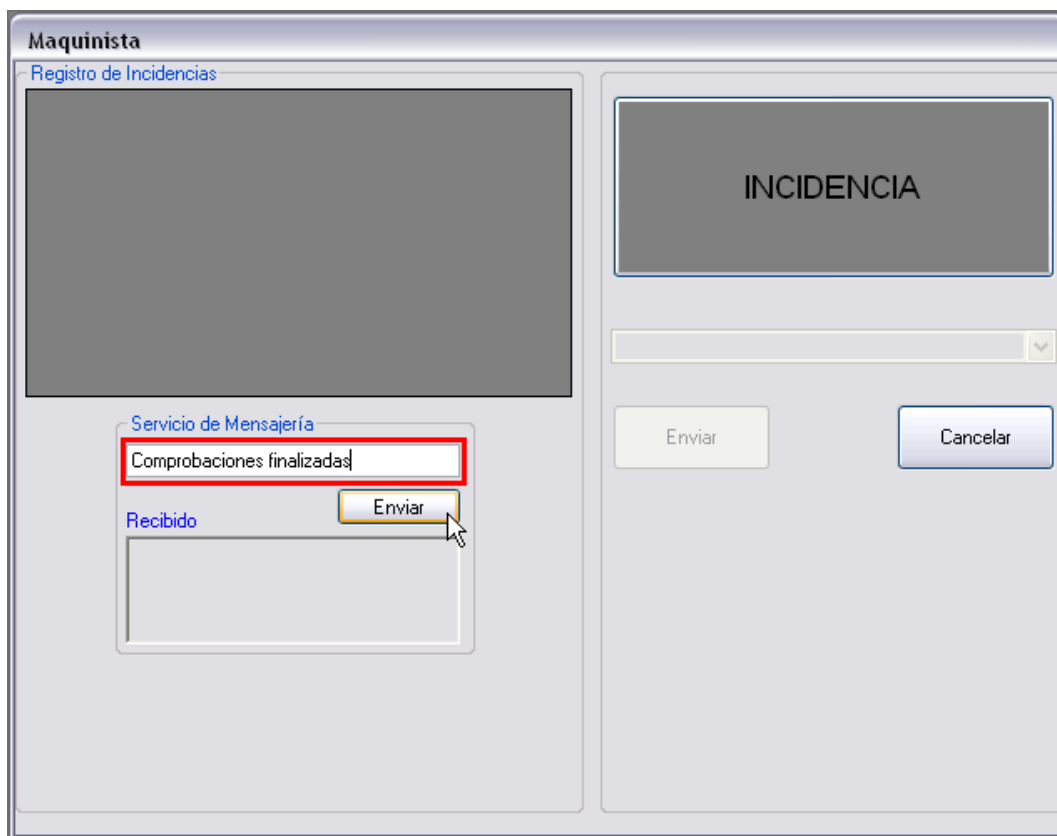


FIGURA 5. 14 PANTALLA DEL MAQUINISTA – ENVÍO DE TEXTO

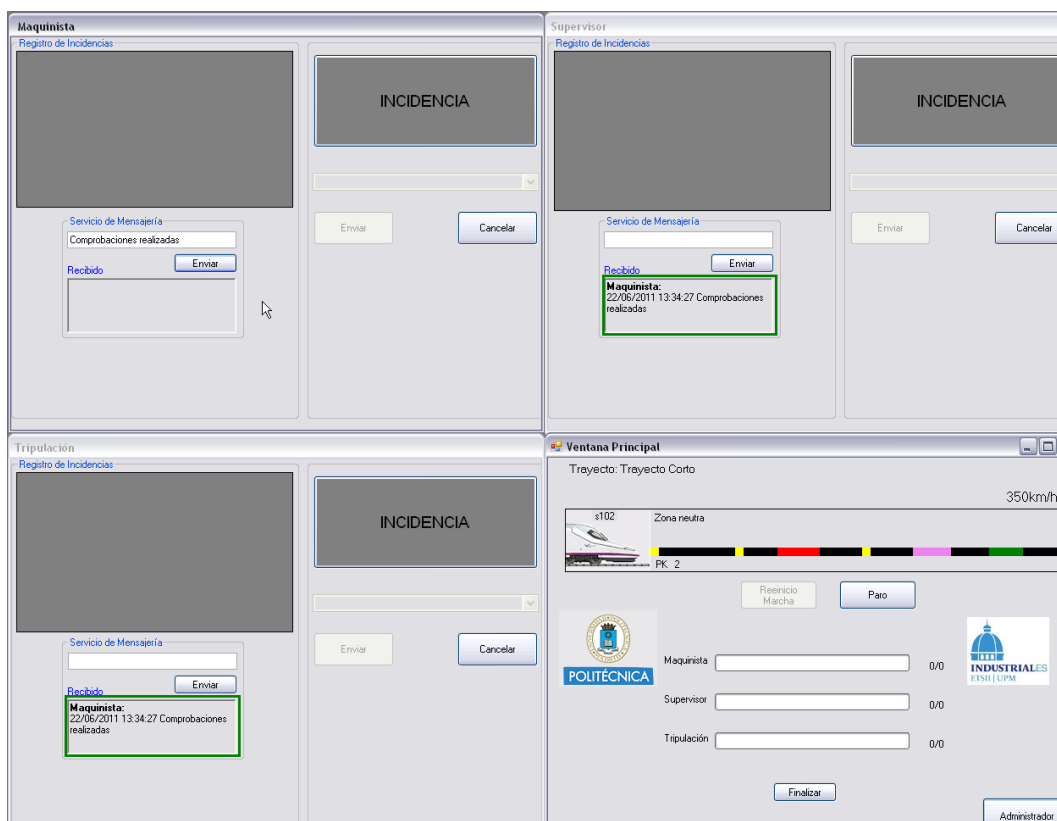


FIGURA 5. 15 RECEPCIÓN DE TEXTO MEDIANTE EL SERVICIO DE MENSAJERÍA

Junto con el texto enviado aparecen los datos de la fecha y la hora del envío del texto, para que el resto de agentes tengan información sobre cuándo ha sido recibido y así evitar posibles confusiones.

5.3.2 DETECCIÓN DE UNA INCIDENCIA

En el caso de que alguno de los agentes detecte una incidencia, el procedimiento a seguir es el mismo para los tres.

Se pulsa el botón de “INCIDENCIA”, que se volverá de color rojo. Si ha sido el maquinista el que detecta la incidencia, la simulación del movimiento del tren inicia un frenado progresivo hasta la parada. Para el caso del simulador este frenado ha sido acelerado, en un caso real no será necesario este efecto ya que se tomaría la velocidad directamente del tacómetro del tren.

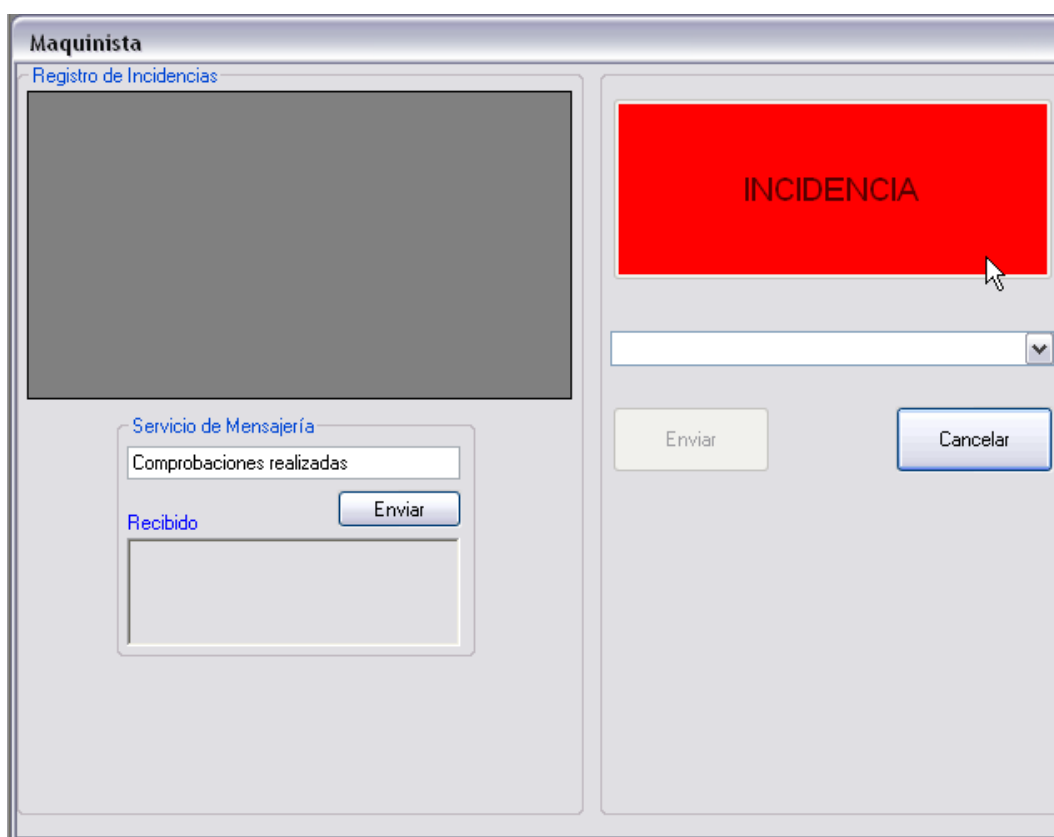


FIGURA 5. 16 PANTALLA DEL MAQUINISTA - DETECCIÓN DE INCIDENCIA

A continuación, del desplegable se seleccionará el tipo de incidencia ocurrida. Durante este proceso el resto de los agentes aún no recibe ninguna información para evitar falsas alarmas.

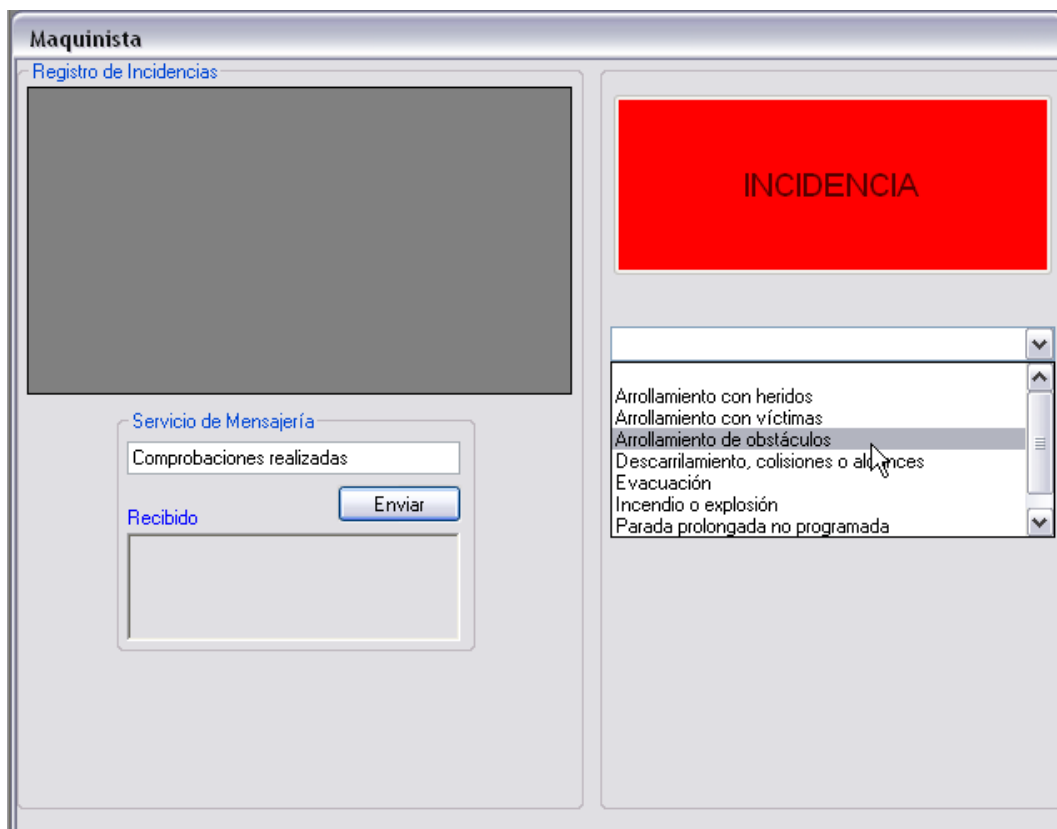


FIGURA 5. 17 PANTALLA DEL MAQUINISTA - ELECCIÓN DEL TIPO DE INCIDENCIA

Una vez elegido el tipo de incidencia, se pasará a enviarla al “Registro de Incidencias” y al resto de agentes, pulsando el botón “Enviar”.



FIGURA 5. 18 PANTALLA DEL MAQUINISTA - ENVÍO DE LA INCIDENCIA

Esto lanzará un diálogo de confirmación por parte del programa y provocará que los botones de “INCIDENCIA” del resto de agentes parpadeen en rojo, informándolos de la detección de una incidencia por parte de otro agente.

Si se pulsa el botón "Cancelar" el sistema volverá al estado inicial de reposo como si no hubiera pasado nada y no quedará registrado en el "Registro de incidencias", pero sí en el log interno del programa.

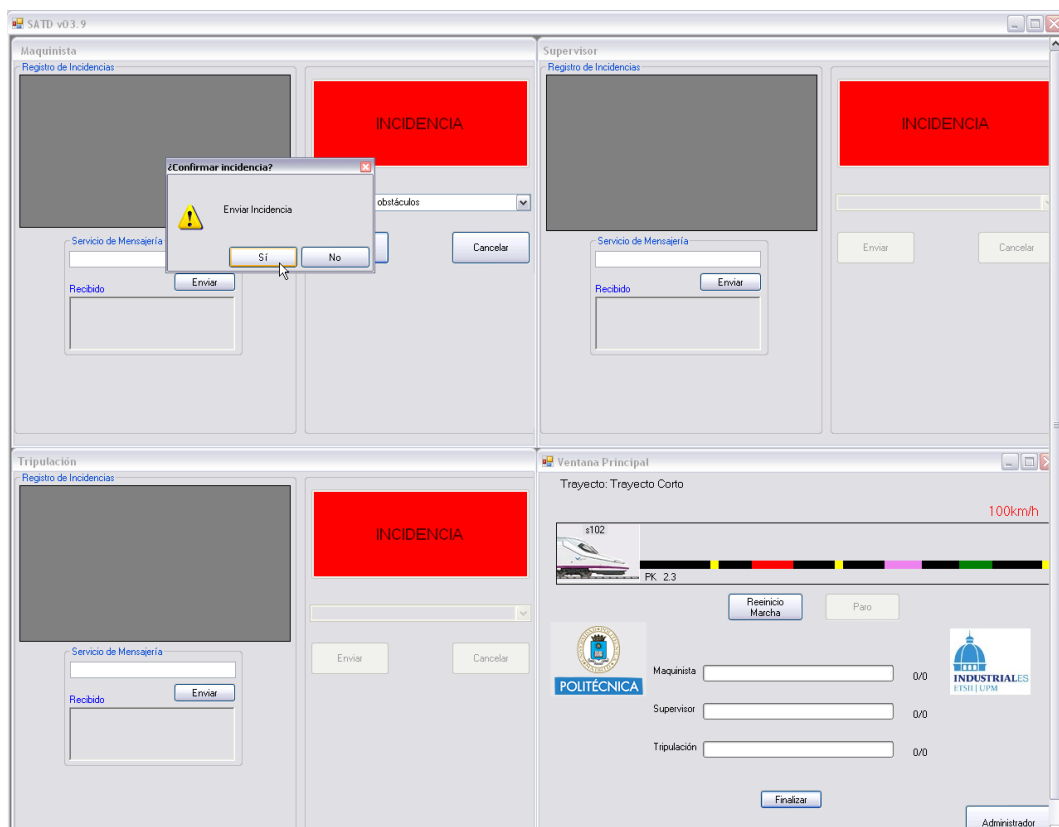


FIGURA 5. 19 CONFIRMACIÓN DEL ENVÍO DE LA INCIDENCIA

Una vez confirmada la incidencia al pulsar el botón “Sí” del diálogo “Enviar incidencia”, se pasará al siguiente estado, el estado de alarma. Cuando la incidencia es reconocida por el maquinista se simula el frenado del tren en la ventana principal, apareciendo la velocidad en rojo.

La pantalla del agente que ha detectado la incidencia pasará automáticamente, mientras que el resto de agentes deberán reconocer la incidencia pulsando respectivamente en sus botones de “INCIDENCIA”.

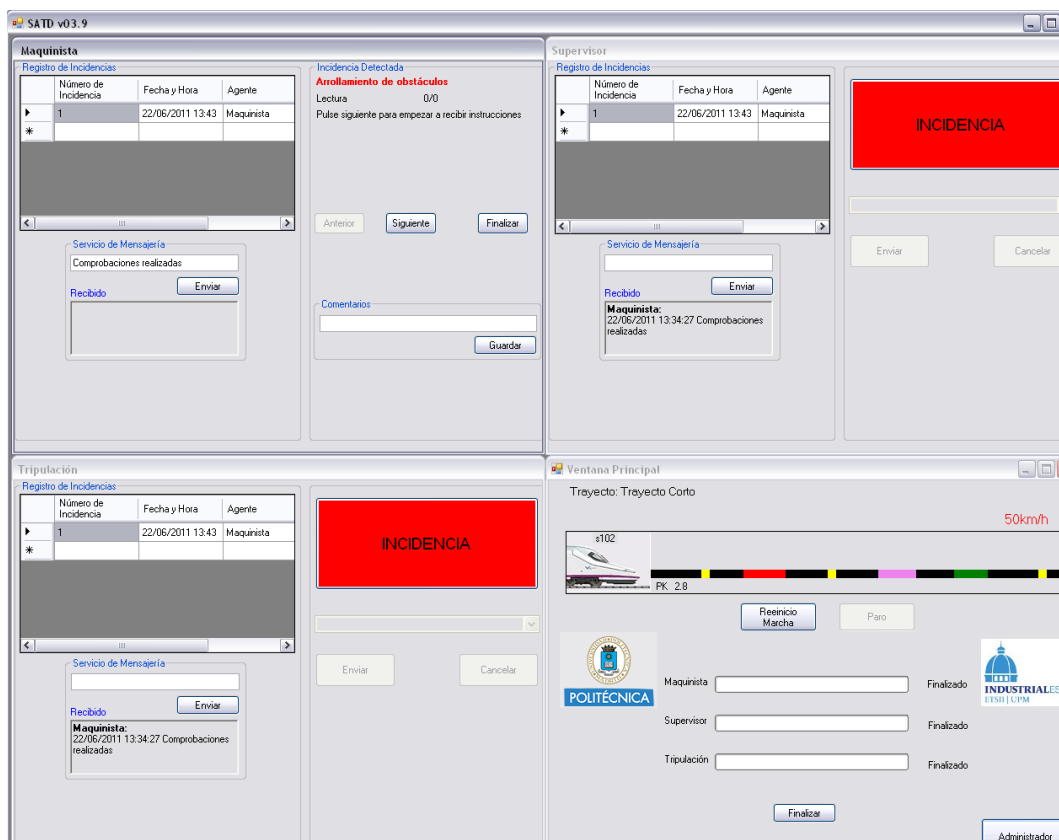


FIGURA 5. 20 ESPERA AL RECONOCIMIENTO DE LA INCIDENCIA POR TODOS LOS AGENTES

Además, se añadirá la incidencia a la tabla de incidencias registradas en la sesión. Conforme se genera la primera incidencia se crea un registro de incidencias también en formato de texto, donde se guardarán todos los datos de esa tabla. Para cada incidencia, en el ejemplo mostrado en la Figura 5. 20 se generaría una tabla como la siguiente:

Número de Incidencia	Fecha y Hora	Agente	Tipo
1	22/06/2011 13:43:04	Maquinista	Arrollamiento de obstáculos

TABLA 5. 2 EJEMPLO DEL REGISTRO DE INCIDENCIAS

De acuerdo al “Procedimiento operativo de actuación en túneles singulares” de Renfe (Renfe, 2007), se establecen dos situaciones de prealarma:

- Entrada en túnel.
- Circulación en túnel.

Ambas situaciones han sido tenidas en cuenta de cara al programa. La primera debe aparecer los diez minutos previos a la entrada a un túnel, y la segunda cuando se entra en el PK correspondiente a la boca del túnel.

a) Actuaciones previas a la entrada en el túnel

Dado que se ha desarrollado un simulador, no se ha tenido en cuenta el tiempo de diez minutos para no alargar demasiado las simulaciones de demostración. En una versión definitiva del programa este calcularía, en función de las velocidades normales de circulación en el trayecto elegido y la velocidad real de circulación en cada instante, el tiempo restante para la entrada en el túnel, y cuando restasen diez minutos activaría la prealarma.

En el caso del demostrador la prealarma se activa cuando el programa calcula que resta un kilómetro para la entrada al túnel. Cuando se activa la prealarma aparecen una serie de mensajes para cada uno de los agentes en la parte inferior derecha de sus pantallas.

The screenshot displays the software interface for three different roles: Maquinista, Supervisor, and Tripulación. Each role has a 'Registro de Incidencias' section and a 'Servicio de Mensajería' section. The 'INCIDENCIA' section contains a checklist of actions to be completed before entering the tunnel. The 'Servicio de Mensajería' section contains a 'Recibido' button and an 'Enviar' button.

Maquinista - Prealarma - Actuaciones previas a la entrada en el túnel:

- ☐ 10 minutos antes de la entrada a túnel emitir un m...
- ☐ Revisar el correcto funcionamiento de las alarmas
- ☐ Si no recibe información de la tripulación 5 minutos
- ☐ Ante cualquier incidente/alarma verifique su audio
- ☐ Si la incidencia no se puede controlar y afecta a l...

Supervisor - Prealarma - Actuaciones previas a la entrada en el túnel:

- ☐ Colocar los trolleys de catering y prensa en sus al...
- ☐ Asegurarse de que las rutas de evacuación estén...
- ☐ Asegurarse de que la apertura global de las puert...
- ☐ Comprobar que no exista ninguna incidencia en el...
- ☐ Situarse en el lugar correcto dentro del tren: Inter...
- ☐ Comprobar que todo el personal y útiles de trabaj...
- ☐ Si se ha detectado avería en alguna de las puert...
- ☐ Ante cualquier incidente/alarma verifique su audio

Tripulación - Prealarma - Actuaciones previas a la entrada en el túnel:

- ☐ Colocar los trolleys de catering y prensa en sus al...
- ☐ Asegurarse de que las rutas de evacuación estén...
- ☐ Asegurarse de que la apertura global de las puert...
- ☐ Comprobar que no exista ninguna incidencia en el...
- ☐ Situarse en el lugar correcto dentro del tren: Car...
- ☐ Si se ha detectado avería en alguna de las puert...
- ☐ Ante cualquier incidente/alarma verifique su audio

Ventana Principal:

Trayecto: Trayecto Túneles 350km/h

S102 PK 1.1

Reinicio Marcha Paro

Maquinista 0/0

Supervisor 0/0

Tripulación 0/0

Finalizar

Administrador

FIGURA 5. 21 ESTADO DE PREALARMA PREVIO A LA ENTRADA EN TÚNEL

Cada uno de los agentes debe realizar sus comprobaciones e ir marcándolas en la lista conforme las termina.

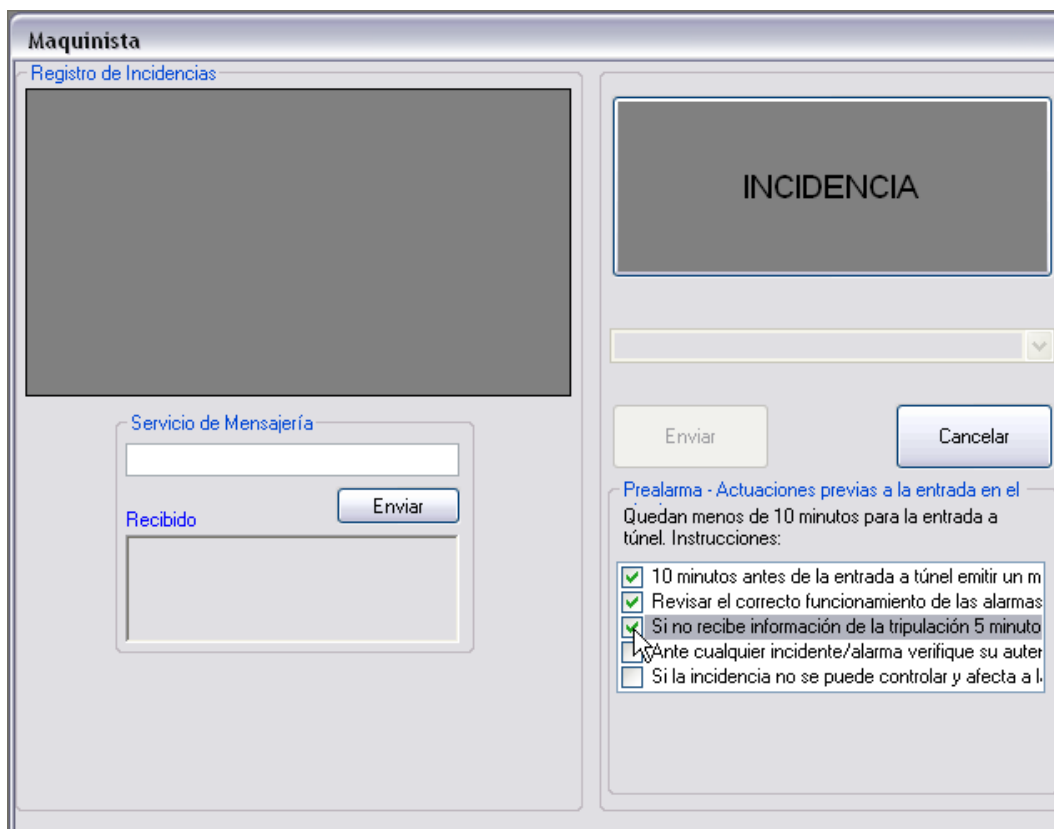


FIGURA 5. 22 PANTALLA DEL MAQUINISTA – COMPROBACIONES PREVIAS A LA ENTRADA EN TÚNEL

b) Circulación dentro del túnel

Cuando el programa detecta la entrada del tren en un túnel, la pantalla cambia y aparecen las instrucciones necesarias para la circulación dentro del túnel.

En este caso, a cada agente le aparecen una serie de comprobaciones pero también ciertas instrucciones que sólo debe leer y tener presente durante el trayecto en túnel.

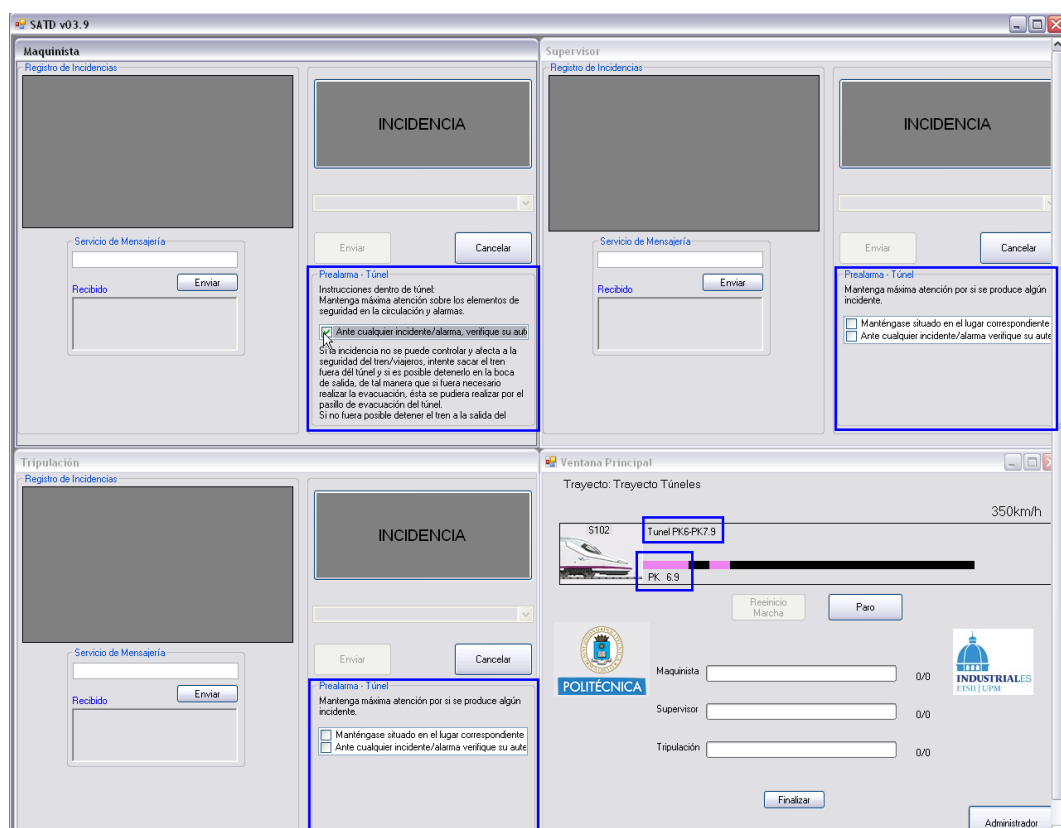


FIGURA 5. 23 ESTADO DE PREALARMA DURANTE LA CIRCULACIÓN EN TÚNEL

En cualquiera de los dos casos, el estado de prealarma pertenece al estado de reposo del programa, de modo que al pulsar el botón de incidencia esta acción tiene prioridad sobre cualquier otra y se pasaría al estado de alarma aún cuando quedaran comprobaciones que realizar respecto del estado de prealarma en túnel.

5.4 ESTADO DE ALARMA

Conforme cada uno de los agentes reconoce la incidencia se informa al resto de ello. Cuando todos la han reconocido, se pasa al estado de alarma, en el que se informa en rojo del tipo de incidencia detectada. La parte izquierda de la pantalla, correspondiente al “Registro de Incidencias” y al “Servicio de Mensajería”, se mantiene siempre visible a todos los agentes, en cualquier estado del sistema.

The screenshot displays the 'ESTADO DE ALARMA' (Alarm State) interface, which is divided into four main panels for different roles: Maquinista (Engineer), Supervisor, and Tripulación (Crew), and a central 'Ventana Principal' (Main Window).

- Maquinista Panel:** Contains a 'Registro de Incidencias' table with columns for 'Número de Incidencia', 'Fecha y Hora', and 'Agente'. Below it is a 'Servicio de Mensajería' section with a 'Comprobaciones realizadas' field and an 'Enviar' button. A 'Recibido' section shows a timestamp '22/06/2011 13:34:27' and 'Comprobaciones realizadas'. A 'Comentarios' field with a 'Guardar' button is also present.
- Supervisor Panel:** Similar to the Maquinista panel, but with a 'Recibido' section showing a timestamp '22/06/2011 13:34:27' and 'Comprobaciones realizadas'.
- Tripulación Panel:** Similar to the Maquinista panel, but with a 'Recibido' section showing a timestamp '22/06/2011 13:34:27' and 'Comprobaciones realizadas'.
- Ventana Principal Panel:** Displays a 'Tren' (Train) icon and a 'Trayecto: Trayecto Corto' (Short Journey) status. It includes a progress bar with a 'PK 0' marker. Below the progress bar are buttons for 'Resicio Marcha' and 'Paro'. At the bottom, there are input fields for 'Maquinista', 'Supervisor', and 'Tripulación', each with a '0/0' status indicator. A 'Finalizar' button is located at the bottom right.

FIGURA 5. 24 ESTADO DE ALARMA DEL PROGRAMA

Debajo del tipo de incidencia se cargan las instrucciones que debe seguir cada uno de los agentes ante esa incidencia, según las “Fichas de Actuación” del “Plan de Emergencia de Trenes” de Renfe (Renfe, 2007).

Para pasar de una instrucción a otra, cada uno de los agentes debe ir pulsando el botón “Siguiente”, de modo que en la ventana maestra se irán rellenando las barras de progreso correspondiente a cada uno de ellos, indicando cuántas instrucciones ha leído cada uno en cada momento.

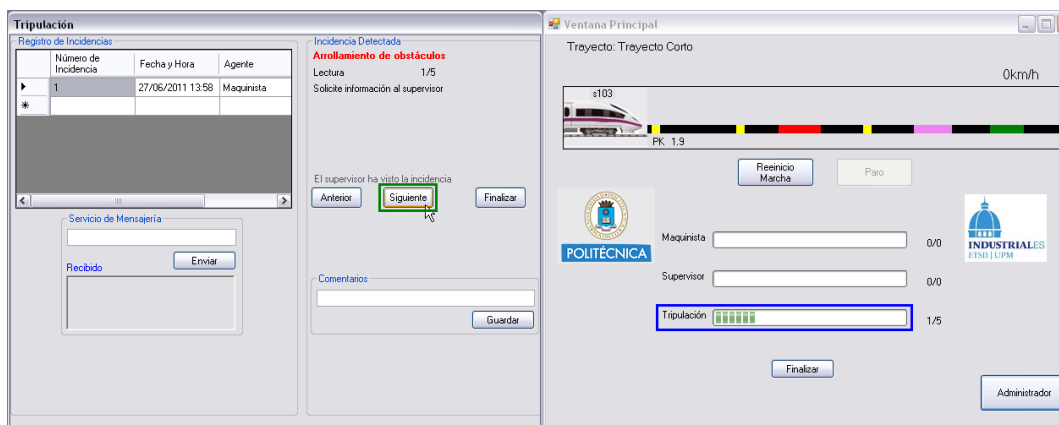


FIGURA 5. 25 PANTALLA DE LA TRIPULACIÓN – INSTRUCCIONES FRENTE A UNA INCIDENCIA.

Quando se llega a la última instrucción, cada uno de los agentes debe pulsar el botón “Finalizar” para volver al estado anterior de reposo.

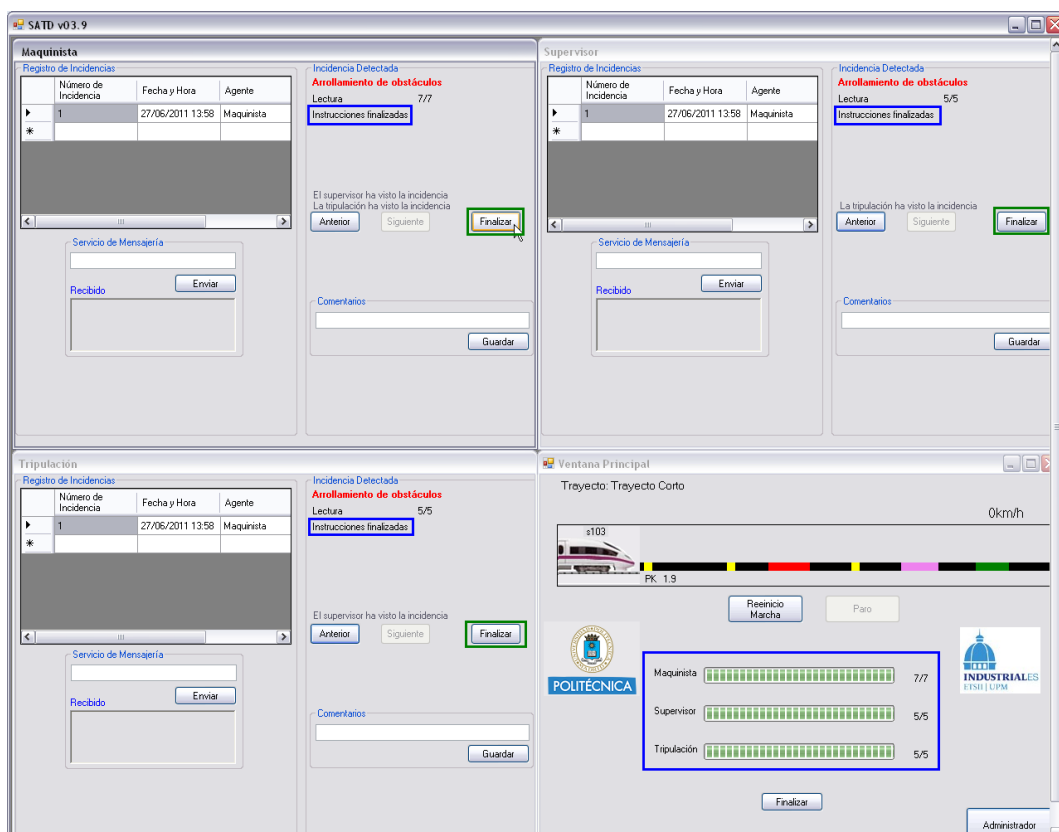


FIGURA 5. 26 INSTRUCCIONES FINALIZADAS

Tanto si se pulsa el botón de “Finalizar” al terminar todas las instrucciones, como si se pulsa prematuramente durante la lectura de las instrucciones, el programa lanza un diálogo de confirmación de la finalización.

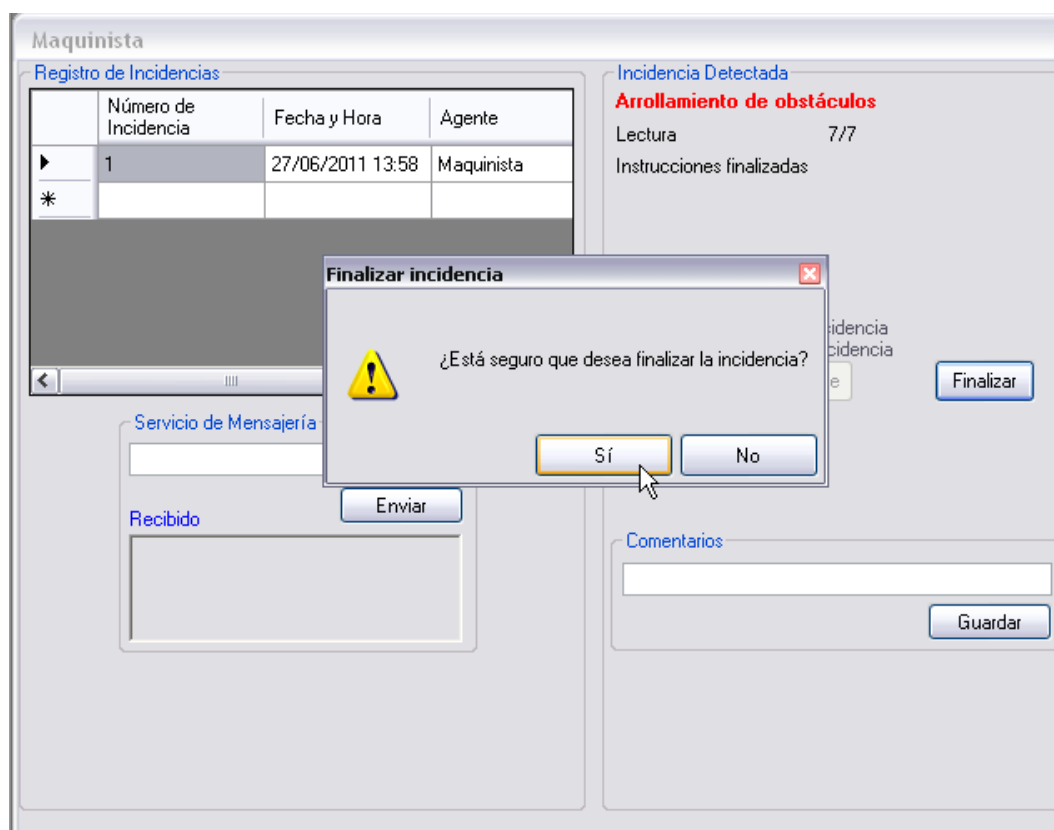


FIGURA 5. 27 PANTALLA DEL MAQUINISTA – CONFIRMACIÓN DE FINALIZACIÓN DE UNA INCIDENCIA

Hasta que no se finaliza la incidencia por parte de los tres agentes no se pasa al estado de reposo, para que no haya conflicto entre una incidencia en curso y una nueva incidencia detectada.

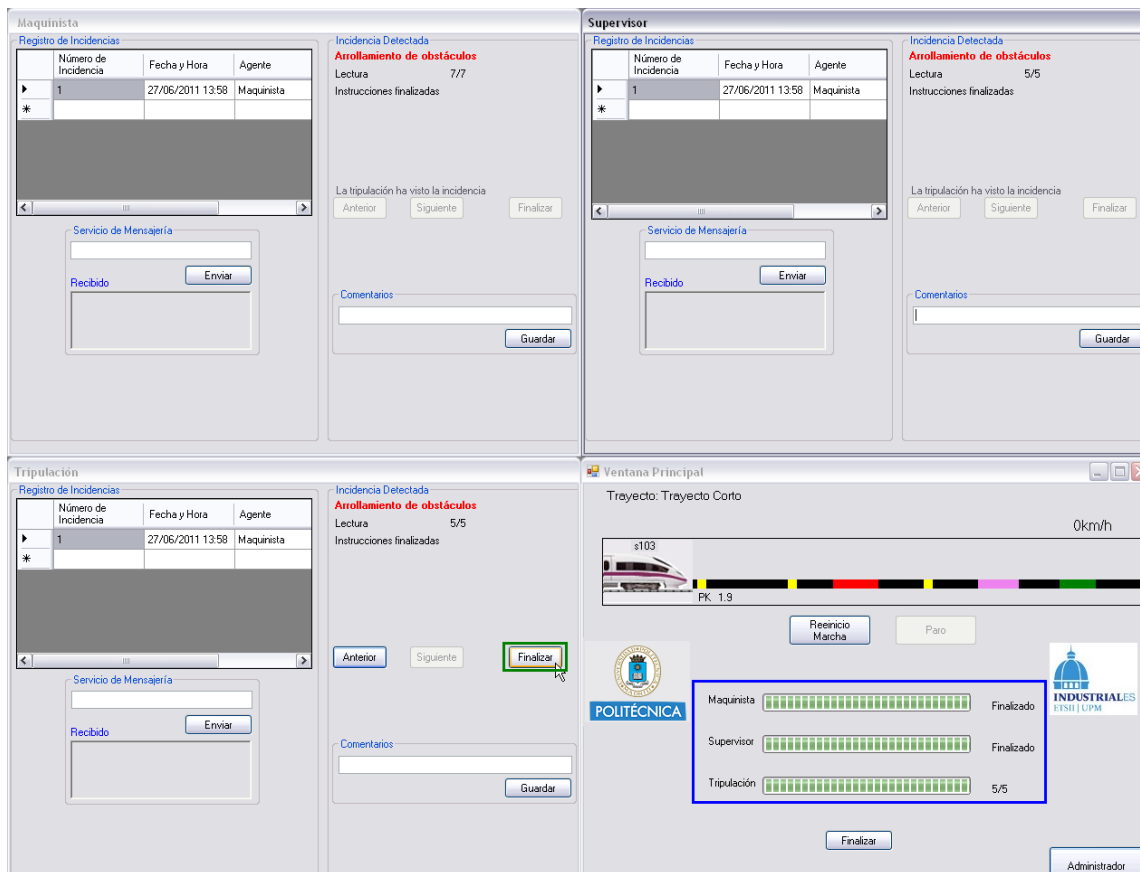


FIGURA 5. 28 FINALIZACIÓN DE LAS INSTRUCCIONES

El ciclo se puede repetir todas las veces que sea necesario durante la circulación del tren, y se podrá reproducir con posterioridad con ayuda de los logs de cada una de las sesiones, que se almacenarán como archivos individuales.

6. CONCLUSIONES

En este proyecto se ha desarrollado un sistema de ayuda a la decisión en situaciones de emergencia, para el caso particular de trenes de pasajeros de Alta Velocidad y prestando especial atención a la circulación en túnel.

Se ha optado por realizar un demostrador para los tres agentes a bordo del tren, el maquinista, el supervisor y el resto de la tripulación, mediante una buena interfaz gráfica con ventanas o formularios, intuitiva y sencilla que proporcione un bajo tiempo de reacción frente a cualquier incidencia que se produzca en la circulación.

Las ventanas se han desarrollado utilizando el entorno de programación Microsoft Visual C#, que permite una buena comunicación entre ellas y que se basa en la gestión de una base de datos realizada en Microsoft Access, que contiene los protocolos de actuación de Renfe ante situaciones de emergencia, y los datos de las líneas contenidos en ficheros de Microsoft Excel.

Este demostrador permite la interacción de los tres agentes entre sí y la buena gestión de la solución de la incidencia, en el caso particular de situaciones de emergencia que requieran de la evacuación del tren.

Se ha obtenido una aplicación sencilla, pero potente y flexible, que sirva como base para el desarrollo de un sistema de ayuda a la decisión complejo que integre todos los factores que intervienen en la resolución de situaciones de emergencia en trenes.

7. RECOMENDACIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

Como se ha venido diciendo con anterioridad, en este proyecto se ha descrito el desarrollo de un sistema en la fase de demostrador, por lo que la primera evolución natural sería la de completarlo realizando separación de las pantallas de cada agente de cara a la instalación bien en un ordenador con varias pantallas táctiles, en el estado óptimo, o bien en varios ordenadores de pantalla táctil mediante el funcionamiento en red del sistema.

Por otro lado, sería interesante la posibilidad de ampliar la base de datos de trenes, trayectos y condiciones de la vía, de modo que fuera posible la utilización en cualquier vía de la red nacional o incluso internacional. Esta ampliación del programa sería muy sencilla tal y como está diseñado, ya que la inclusión de nuevos datos consiste tan sólo en la inserción de ficheros de texto o tablas en unas ciertas carpetas del programa.

En el caso de que a bordo del tren hubiera más de un tripulante, además del maquinista o del interventor o supervisor, o que se quisiera añadir una pantalla del sistema para las dos cabinas de conducción, tan sólo sería necesario duplicar alguna de las ventanas o formularios del sistema, de modo que las rutinas internas serían fácilmente adaptables a cualquier situación.

Otra vía de desarrollo sería la adición de entradas que vinieran del propio tren, en particular son muy importantes los datos de velocidad y posicionamiento del tren, que permitirían una mejor respuesta ante ciertas situaciones especiales como pueden ser la entrada en túnel o el paso por zonas neutras. Para ello sería necesaria la conexión del sistema con los equipos de a bordo del tren y la comunicación entre los diferentes sistemas de forma abierta, y sería muy beneficioso para el buen funcionamiento del sistema de ayuda a la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

Arreola Risa, J. S., & Arreola Risa, A. (2003). *Programación lineal: una introducción a la toma de decisiones cuantitativa*. International Thomson.

Bierman, H., Bonini, C., & Hausman, W. (1994). *Análisis cuantitativo para la toma de decisiones*. Addison-Wesley Iberoamericana.

Dichter, E. (1988). *¿Es usted un buen gerente?* McGraw Hill Latinoamericana, S.A.

Holsapple, C. W. (2004). *Handbook on knowledge management: Knowledge matters* (Vol. 1). Springer.

Instituto Nacional de Estadística. (1982). Toma de decisiones con una demanda variable. *Estadística española*, Números 94-97.

Microsoft. (2008). *MSDN Library - Visual Studio C# 2008*. Obtenido de <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/kx37x362%28v=VS.90%29.aspx>

Molinero, L. D. (2011). *¿Qué es un Sistema de Ayuda a la Decisión?* Obtenido de Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones: <http://alhambra.dif.um.es>

Moody, P. E. (1991). *Toma de decisiones gerenciales*. McGraw-Hill.

Renfe. (2007). *Fichas de actuación. Plan de emergencia en túneles*.

Renfe. (2007). *Procedimiento operativo de actuación en túneles singulares. Serie 102*.

Sanz Bobi, J. (2001). Control de procesos basado en eventos mediante Bases de Conocimiento Borrosas y Algoritmos Genéticos. *Tesis Doctoral*. Madrid: Univesidad Politécnica de Madrid. ETSI Industriales.

Simon, H. A. (1947). *Administrative Behavior: A Study of Decision-making Processes in Administrative Organization*. New York: The Macmillan Company.

Sprague, R. H., & Carlson, E. D. (1982). *Building effective decision support systems*. Michigan: Prentice-Hall.

Spranger, E. (1928). *Types of men: the psychology and ethics of personality*. Tübingen, Alemania: Max Niemeyer.

von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Estados Unidos: Princeton University Press.